



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

PŘEHRÁVAČ ZVUKOVÝCH SOUBORŮ PRO AUTO- MOBIL

AUDIO PLAYER DEVICE FOR AUTOMOTIVE ENVIRONMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MATEJ MUŽILA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VÁCLAV ŠIMEK

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačových systémů

Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Mužila Matej**

Obor: Informační technologie

Téma: **Přehrávač zvukových souborů pro automobil
Audio Player Device for Automotive Environment**

Kategorie: Vestavěné systémy

Pokyny:

1. Zabývejte se zvukovými formáty WAV, PCM a MP3. Především věnujte pozornost metodám jejich dekódování a přehrávání.
2. Připravte koncepci přehrávače zvukových souborů do automobilu v podobě rozšiřujícího modulu k autorádiu nebo eventuálně jako samostatně fungujícího přípravku.
3. Proveďte výběr vhodných součástek. Ve vhodném návrhovém systému dle pokynů vedoucího vytvořte schéma zapojení a motiv desky plošných spojů.
4. Implementujte obslužný firmware zajišťující načítání zvukových souborů z hostitelského PC, paměťového média typu SD karta, nebo z dostupné FLASH paměti MCU.
5. Funkčnost navrženého řešení demonstруйте přehráním zvukového souboru v podporovaném formátu.
6. Zhodnoťte dosažené výsledky a diskutujte možnosti případného vylepšení.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 až 4 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Šimek Václav, Ing., UPSY FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2015

Datum odevzdání: 18. května 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačových systémů a sítí
602 00 Brno, Božetěchova 2



doc. Ing. Zdeněk Kotásek, CSc.
vedoucí ústavu

Abstrakt

Cieľom tejto práce je vytvorenie prehrávača hudobných súborov určeného pre automobil. Práca popisuje vývoj moderného autorádia s dotykovým displejom, postavenom na jednodoskovom počítači *Raspberry Pi 2*. Popisuje vývoj hardvérových častí od návrhu cez výber komponentov až po realizáciu. Tiež popisuje vývoj firmvéru, vrátane grafického užívateľského rozhrania, pre toto zariadenie. Zariadenie bolo zrealizované s úspešným dosiahnutím stanovených cieľov.

Abstract

The purpose of this thesis is to create an audio player device for automotive environment. Thesis describes development of modern car radio with touchscreen, built on oneboard computer *Raspberry Pi 2*. It describes development of hardware parts of the device from concept through selection of components to realization. It also describes development of firmware for this device, including graphical user interface. The device was built and it fulfilled set goals.

Kľúčové slová

Raspberry Pi, SPI, I2C, FM prijímač, autorádio, Qt, automobil

Keywords

Raspberry Pi, SPI, I2C, FM receiver, car radio, Qt, automotive environment

Citácia

MUŽILA, Matej. *Přehrávač zvukových souborů pro automobil*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Šimek Václav.

Přehrávač zvukových souborů pro automobil

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením Ing. Václava Šimka. Uviedol som všetky pramene a literárne publikácie z ktorých som čerpal.

.....

Matej Mužila

24. mája 2016

Podakovanie

Chcel by som poďakovať Ing. Václavovi Šimkovi za rady pri návrhu zariadenia a za zapožičanie potrebného technického vybavenia. Tiež by som mu chcel poďakovať za pomoc pri osadzovaní plošného spoja.

© Matej Mužila, 2016.

Táto práca vznikla ako školské dielo na FIT VUT v Brně. Práca je chránená autorským zákonom a jej využitie bez poskytnutia oprávnenia autorom je nezákonné, s výnimkou zákonne definovaných prípadov.

Obsah

1	Úvod	3
2	Cieľ	4
2.1	Koncepcia zariadenia	4
3	Hardvérová časť	5
3.1	Koncepcia	5
3.2	Návrh	5
3.2.1	Počítač	5
3.2.2	FM prijímač	6
3.2.3	Zmiešavač a zosilňovač zvuku	6
3.2.4	Napájací zdroj	6
3.2.5	Mikrokontrolér	7
3.3	Výber komponentov	7
3.3.1	Počítač	7
3.3.2	FM prijímač	7
3.3.3	Výkonový zosilňovač	8
3.3.4	Zmiešavač zvuku	8
3.3.5	Mikrokontrolér	8
3.3.6	Napájací zdroj	8
3.3.7	Zdroj záporného napätia	9
3.4	Konštrukcia	9
3.4.1	Napájací zdroj	9
3.4.2	FM prijímač	11
3.4.3	Zvukové obvody	13
3.4.4	Mikrokontrolér	14
3.4.5	Pripojenie počítača	15
3.5	Oživenie zariadenia	17
4	Softvérová časť	18
4.1	Koncepcia	18
4.2	Návrh	18
4.2.1	Operačný systém	18
4.2.2	Prehrávač zvukových súborov a dekodovanie zvukových formátov	19
4.2.3	Grafické užívateľské rozhranie	20
4.2.4	Ovládanie hardvéru	22
4.3	Implementácia	23
4.3.1	Grafické užívateľské rozhranie	23

4.3.2	Ovládanie hardvéru	24
4.3.3	Mikrokontrolér	25
4.3.4	Konfigurácia operačného systému	26
5	Záver	27
	Literatúra	28
	Prílohy	30
	Zoznam príloh	31
A	Úplná schéma zapojenia	32
B	Obraz dosky plošných spojov	38
C	Fotografie zariadenia	43
D	Obsah CD	46

Kapitola 1

Úvod

Autorádio ako také už existuje pomerne dlhú dobu. S prvým prijímačom určeným pre umiestnenie v motorovom vozidle prišla spoločnosť *Motorola* už v roku 1930. Od tejto doby však autorádiá prešli veľkým vývojom. Postupne výrobcovia prešli z elektrónkových obvodov na omnoho menšie, úspornejšie a odolnejšie obvody polovodičové. Neskôr zas začali do autorádií integrovať prehrávače zvukových médií. Veľmi populárne boli prehrávače magnetofónových kaziet (na západe aj osemstopých). Prebehli dokonca aj pokusy o integrovanie gramofónu. Neskôr výrobcovia integrovali *CD* prehrávače.

Ešte v nedávnej minulosti boli bežné autorádiá vybavené FM prijímačom s podporou *RDS* a *CD* prehrávačom. V poslednej dobe však toto prestalo stačiť, pretože dnes už málokto používa na prehrávanie hudby nosiče *CD*. Vďaka dramatickému zlacneniu flash pamätí sa začali vyrábať prehrávače, ktoré čítajú hudbu z takýchto modulov. Reagoval na to aj trh s autorádiami, ktorý začali integrovať podporu *USB* zariadení.

Rozvoj počítačovej techniky sa prejavil aj v konštrukcií autorádií. Jedná sa najmä o drahšie autorádiá, ktoré obsahujú farebný, niekedy aj dotykový displej. Na tomto displeji sú schopné zobrazovať pohodlné užívateľské rozhranie. Niektoré dokonca disponujú aj funkciou *GPS* navigácie.

Mnohé tieto autorádiá však trpia rýchlym zastarávaním softvérového vybavenia, keď výrobcovia neposkytujú takmer žiadne aktualizácie firmvéru v týchto zariadeniach. Môže sa tak stať, že po piatich rokoch od kúpy zariadenia už nebudú dostupné aktuálne mapy pre *GPS* navigáciu. Zásah do týchto zariadení tiež nebýva možný, pretože ich firmvér je zvyčajne uzavretý a nie je dostupná žiadna dokumentácia.

Táto práca sa teda zaoberá návrhom a výrobou moderného autorádia, ktoré používa výlučne otvorený softvér. Toto autorádio by malo byť jednoducho udržiavateľné a malo by byť možné jeho neskoršie rozšírenie o ďalšie funkcie.

Kapitola 2

Cieľ

Cieľom práce je vytvorenie zariadenia, ktoré bude pracovať ako moderné autorádio s dotykovým displejom. Zariadenie by malo obsahovať minimálne výkonový zvukový zosilňovač, FM prijímač, prehrávač hudobných súborov a potrebné podporné obvody. Tiež by toto zariadenie malo byť schopné komunikovať s displejom a diaľkovým ovládačom vstavanými vo vozidle *Renault Laguna II*.

2.1 Konceptcia zariadenia

V dnešnej dobe sú autorádiá umiestňované spravidla do palubnej dosky vozidla. V Európe sa používajú štandardné veľkosti *1 DIN* a *2 DIN*. Horšia je situácia s pripojením autorádií k elektroinštalácií vozidla. Výrobcovia automobilov používajú pre pripojenie autorádiá rôzne navzájom nekompatibilné konektory.

Autorádiá o veľkosti *1 DIN* patria väčšinou do skupiny lacnejších a jednoduchších prístrojov. Prístroje o veľkosti *2 DIN* bývajú veľakrát zabudované priamo výrobcom vozidla a niekedy bývajú prepojené aj s ostatnými systémami vozidla (napríklad parkovacie senzory). Autorádiá o tejto veľkosti bývajú tiež dopĺňané o funkcie akými sú napríklad *GPS* navigácia a prepojenie s mobilným telefónom.

Navrhované autorádio je zabudovateľné do slotu pre rádiá veľkosti *2 DIN*. S elektrickou sieťou vozidla je spojené pomocou konektora typu *ISO*, ktorý patrí k rozšírenejším konektorom. Aby sa vyrovnalo vlastnosťami komerčným autorádiám obsahuje aj výkonový zvukový zosilňovač a možnosť vyváženia zvuku. Toto zariadenie tiež disponuje možnosťou prehrávať zvukové súbory z internej pamäte alebo z *USB* kľúča. Samozrejme obsahuje aj FM prijímač s *RDS*. Autorádio je jednoduché rozšíriť o ďalšie subsystémy, napríklad o *GPS* navigáciu.

Kapitola 3

Hardvérová časť

3.1 Konceptia

Hardvér pozostáva z dvoch fyzických blokov. Jedná sa o blok s počítačom a dotykovým displejom a o blok podpornou elektronikou. Tieto bloky sú navzájom prepojené a ich samostatná prevádzka nie je možná.

Blok s počítačom tvorí počítač *Raspberry PI 2* s pripojeným kapacitným dotykovým displejom. Jeho rozlíšenie je 480 x 800 pixelov a dosahuje farebnú hĺbku 16 bitov. S počítačom je spojený pomocou zbernice *DSI* a zdieľa s ním napájanie.

Blok s podpornou elektronikou tvorí doska plošných spojov. Na tejto doske je umiestnený modul zdroja, zvuku, FM prijímača a mikrokontroléru. Doska tiež obsahuje štandardné automobilové konektory (*ISO*) pre pripojenie k automobilu.

3.2 Návrh

Pri návrhu hardvérovej časti boli vytýčené základné požiadavky:

- Dotykový displej a možnosť rozšírenia o *GPS* navigáciu
- Možnosť prehrávať zvukové súbory
- Možnosť prijímať FM rádio a informácie prenášané pomocou *RDS*
- Schopnosť interakcie s displejom a diaľkovým ovládačom zabudovaným vo vozidle
- Vstavaný výkonový zvukový zosilňovač
- Pasívne chladenie
- Nízky kludový odber prúdu (aby sa predišlo vybitiu batérie)

3.2.1 Počítač

Aby bolo zariadenie možné jednoducho rozšíriť o *GPS* navigáciu, bolo zvolené riešenie zahŕňajúce jednodoskový počítač. Tento počítač riadi celé zariadenie a pomocou dotykového displeja zabezpečuje interakciu s užívateľom. Tiež zaobstaráva prehrávanie zvukových súborov.

3.2.2 FM prijímač

Pretože bežne dostupné jednodoskové počítače neobsahujú FM prijímač bolo potrebné vybrať vhodný externý prijímač. Prvou možnosťou bolo použitie *SDR* rádia. Toto riešenie by poskytlo príjem širokého spektra frekvencií. Toto by umožnilo príjem všetkých dostatočne silných rádiových staníc vysielajúcich na území Českej a Slovenskej republiky, ale napríklad aj príjem leteckého spravodajstva (napríklad o počasí). Pri použití *SDR* rádia by sa o všetko prehrávanie a zmiešavanie zvuku staral počítač. Odpadli by teda starosti s hardvérovým miešaním zvuku z rádia a z počítača.

Použitie *SDR* prijímača sa však ukázalo ako nevhodné. *SDR* prijímače majú zvyčajne nižšiu citlivosť ako bežné analógové prijímače. Z princípu funkcie *SDR* rádia je zrejmé, nakoľko pracujú podobne ako digitálny osciloskop, že produkujú značné množstvo dát. Spracovanie týchto dát môže klásť vysoké nároky na výkon počítača. Väčšina zariadení tohto typu je primárne určená na príjem televízie. Rozvody televízie však používajú anténne vedenie o impedancií $75\ \Omega$. Anténne vedenie v automobiloch však má impedanciu $50\ \Omega$. Pre čo najnižšie straty na vedení by teda bolo treba skonštruovať člen na impedančné prispôsobenie týchto sietí. Poslednou nevýhodou je pomerne vysoká cena takýchto zariadení.

Ďalším možným riešením bolo použitie niektorého z dostupných integrovaných obvodov FM prijímačov. Tieto prijímače sú pomerne citlivé a nakoľko je k nim poskytovaná rozsiahla dokumentácia, nie je problém s impedančným prispôobením k anténe. Cena týchto obvodov sa pohybuje zvyčajne do 100 Kč a cena externých súčiastok sa zvyčajne zmestí do 20 Kč.

Hlavnou nevýhodou tohto riešenia je absencia digitálneho výstupu, ktorý by bol kompatibilný s dostupnými jednodoskovými počítačmi. Je teda potrebné skonštruovať hardvérový zmiešavač zvuku z počítača a z rádia. Značná časť týchto prijímačov tiež neposkytuje *RDS*.

Kvôli citlivosti, nízkej náročnosti na strojový čas počítača a cene bolo rozhodnuté o použití niektorého z integrovaných FM prijímačov.

3.2.3 Zmiešavač a zosilňovač zvuku

Pretože bolo zvolené riešenie s integrovaným obvodom FM prijímača, bolo nutné navrhnuť zmiešavač zvuku pre rádio a počítač. Tento zmiešavač by bolo možné zjednodušiť na prostý prepínač medzi zvukom z počítača a zvukom z rádia, no v tomto prípade by sme prišli o možnosť rozšírenia o plnohodnotnú *GPS* navigáciu. Nebolo by totiž možné prehrávať zvukové povely navigácie súčasne s rádiom.

Väčšina autorádií obsahuje funkciu vyváženia zvuku medzi ľavou a pravou stranou a aj medzi prednou a zadnou časťou vozidla. Zmiešavač bol teda doplnený o funkciu vyváženia zvuku.

Bežné autorádiá tiež obsahujú výkonový zvukový zosilňovač pre reproduktory, ktoré sú vstavané vo vozidle. Konštrukcia zosilňovača z diskretných súčiastok sa nijakým spôsobom (cena, čas, kvalita, plocha na plošnom spoji) neoplatí. Bol teda zvolený integrovaný zosilňovač.

3.2.4 Napájací zdroj

Pretože väčšina komponentov potrebuje napájacie napätie 5 V a v palubnej sieti vozidla sa vyskytuje napätie niekde medzi 11 V a 15 V bolo nutné navrhnuť napájací zdroj. Návrh zdroja s jediným regulátorom napätia by bol najjednoduchší, no takýto zdroj by nedosahoval požadované parametre. Pretože by takýto zdroj musel byť konštruovaný tak, aby zvládadal pomerne vysoké prúdy, jeho odber v stave kludu, teda keď je rádio vypnuté, by bol

pomerne vysoký. Použitie takéhoto regulátora je vylúčené, pretože musí fungovať pomerne dlhé časové intervaly len na batériu vozidla a je nutné aby batériu vybil len po medzu, kedy je auto ešte schopné naštartovať. Tiež je možné, že by sa rušenie z počítača prenášalo aj do analógových komponentov ktoré spracovávajú zvuk.

Napájací zdroj bol teda rozdelený na tri vetvy. Jedná sa o vetvu stáleho napájania, vetvu napájania počítača a o vetvu napájania FM prijímača a zvukového zmiešavača. Kvôli čo najmenším tepelným stratám bol pre vetvu napájania počítača a stáleho napájania zvolený spínaný regulátor.

Napájanie zvukových komponentov pomocou spínaného regulátora by mohlo spôsobovať rušenie. Nakoľko tieto komponenty majú pomerne malý odber, použitie lineárneho regulátora nie je prekážkou.

3.2.5 Mikrokontrolér

Počítač na ktorom beží štandardný operačný systém nesmie byť vypínaný odpojením od napájania. Pri takomto vypínaní by mohlo dôjsť k poškodeniu súborového systému na pamäťovom médiu alebo k nekonzistentnosti dát. Samotný počítač by síce mohol ovládať napájanie, no pretože počas bootovania systému a jeho vypínania programátor nemá kontrolu nad vstupno — výstupnými pinmi, bol zvolený iný prístup.

Zariadenie obsahuje mikrokontrolér, ktorý sleduje či je zapnuté zapalovanie. Keď dôjde k vypnutiu zapalovania, mikrokontrolér dá povel počítaču aby sa korektne vypol a po tomto vypnutí odstavi prúd. Aby pri zapínaní a vypínaní prúdu nedošlo k praskaniu v reproduktorech, mikrokontrolér tiež ovláda výkonový zosilňovač.

Nakoľko zbernica I^2C ktorú je nutné použiť na komunikáciu s displejom a diaľkovým ovládačom vstavaným vo vozidle používa napätie 5 V a zbernica počítača používa napätie 3.3 V, nie je možné ich spojiť priamo. Konštrukcia prevodníka nie je zložitá, vyžaduje 2 tranzistory a 4 rezistory. K protokolu ktorý používa vstavaný displej a ovládač neexistuje takmer žiadna dostupná dokumentácia a navyše bola táto zbernica rozšírená o ďalší signál. Pretože je I^2C zbernica použitá aj na komunikáciu medzi počítačom a FM prijímačom, bol zvolený postup pri ktorom počítač komunikuje cez zbernicu SPI s mikrokontrolérom a ten následne komunikuje cez I^2C zbernicu so vstavaným displejom a ovládačom.

3.3 Výber komponentov

3.3.1 Počítač

Na trhu je pomerne veľké množstvo jednodoskových počítačov. Zvyčajne obsahujú *ARM* procesor a niekoľko vstupno — výstupných pinov. Ich podpora v linuxovom jadre a linuxových distribúciach je rôzna. Pripojenie dotykového displeja tiež môže byť problematické.

Počítač *Raspberry Pi 2* bol zvolený kvôli jeho dostupnosti, veľkému množstvu zberníc a vstupno-výstupných pinov, ktoré má vyvedené na doske, dobrej podpore v linuxovom jadre a nadbytku výkonu. K výberu tiež prispela existencia dotykového displeja, ktorý je odladený a je priamo pripojiteľný k tomuto zariadeniu.

3.3.2 FM prijímač

Kvôli obmedzenému priestoru na doske plošných spojov, cene a celkovej náročnosti bolo základnou požiadavkou na FM prijímač aby to bol prijímač integrovaný a aby bolo potrebné čo najmenšie množstvo externých súčiastok.

Tiež boli kladené pomerne vysoké nároky na citlivosť tohto prijímača. Citlivosť by mala byť vyššia ako pri štandardnom autorádiu a teda menej ako 1.8 μV pri odstupe signálu od šumu 26 Db.

Ďalej bolo požadované aby bol prijímač schopný príjmu informácií cez systém *RDS*, čo je síce štandardom pri dnešných autorádiách no veľké množstvo obvodov dostupných na trhu túto funkciu neposkytuje.

Jediným vhodným obvodom sa teda ukázal byť *Si4703* od *Silicon Laboratories*. Vyžaduje minimum externých súčiastok, poskytuje *RDS* a jeho citlivosť dosahuje 1.1 μV pri odstupe signálu od šumu 26 Db [18]. Jeho nevýhodou, nakoľko sa jedná o čip určený pre mobilné zariadenia, je až príliš malá veľkosť jeho puzdra (*QFN 20*, 3 x 3 mm).

3.3.3 Výkonový zosilňovač

Základnou požiadavkou pri výbere výkonového zosilňovača bolo, aby mu stačilo jediné napájacie napätie, ideálne napätie medzi 11 V a 15 V, ktoré sa vyskytuje v palubnej sieti vozidla.

Ďalej bolo požadované aby to bol zosilňovač 4 kanálový s minimálnym výkonom 4 x 15 W a aby stratový tepelný výkon nepresiahol 50 W. Tieto parametre sú bežné pri zosilňovačoch používaných v autorádiách.

Vybraný bol zosilňovač *TDA7388*, ktorého výkon je 4 x 26 W [19] pri napájacom napätí 14.4 V a maximálny stratový tepelný výkon okolo 42 W. Je to zosilňovač určený pre použitie v autorádiách.

3.3.4 Zmiešavač zvuku

Požiadavkou na digitálne potenciometre bol aspoň 7 bitový rozsah. Tiež bolo požadované aby komunikovali pomocou zbernice *SPI*. Túto požiadavku spĺňa obvod *Microchip MCP4341*, ktorý navyše obsahuje 4 potenciometre v jedinom puzdre [13].

Pri operačných zosilňovačoch bolo požadované aby im postačovalo napájacie napätie $\pm 5\text{ V}$ a aby boli vhodné pre zvuk. Vybrané boli operačné zosilňovače *Analog Devices AD8066*. Jedná sa o nízkošumové zosilňovače vhodné pre automobilový priemysel [1].

3.3.5 Mikrokontrolér

Požiadavkou na mikrokontrolér bolo, aby obsahoval zbernice *SPI* a *I²C* a aby boli jeho vstupy kompatibilné s logikou *TTL* a s 3.3 V logikou.

Vybraný bol čip *Atmel AtMega32* aj napriek tomu, že ďaleko prevyšuje požiadavky. Pri jeho výbere bolo myslené na ďalší rozvoj autorádia a možné pridanie ďalších zariadení. Tento čip obsahuje mimo iné 4 8 bitov dlhé porty, A/D prevodník, *USART*, *SPI*, *I²C* a veľké množstvo ďalších periférií [2].

3.3.6 Napájací zdroj

Regulátor stáleho napájania

Regulátor stáleho napájania musí dosahovať čo najvyššiu efektivitu. Pracuje totiž aj v čase keď je vozidlo odstavené a teda nesmie predstavovať pre batériu vozidla prílišnú záťaž. Zvolený bol regulátor *Texas Instruments LM2674-5.0* ktorý dosahuje efektivitu vyššiu ako 90% a má garantovaný výstupný prúd 500 mA [21], ktorý značne prevyšuje požiadavky mikrokontroléru.

Regulátor napájania počítača

Regulátor napájania počítača musí poskytovať pomerne vysoký výstupný prúd. Počíta sa totiž nie len s napájaním samotného počítača a displeja, ale aj s napájaním zariadení pripojených k počítaču pomocou *USB* a tiež s napájaním zariadení ktoré budú pripojené pri ďalšom rozvoji zariadenia (napr. *GPS* modul). Aby regulátor vyžaroval čo najmenej tepla, bol zvolený regulátor spínaný. Nakoľko sú zvukové obvody počítača tiež napájané týmto regulátorom, boli kladené vysoké požiadavky na frekvenciu tohto regulátora. Zvolený bol regulátor *Texas Instruments LM2596-5.0*. Tento pracuje na frekvencii 150 kHz a teda by jeho rušenie nemalo byť počuteľné. Dosahuje výstupného prúdu až 3 A [20], čo postačuje na napájanie dotykového displeja a počítača a aj ďalších v budúcnosti pripojených zariadení. Jeho efektívnosť dosahuje 73%.

Regulátor napájania FM prijímača a zmiešavača zvuku

Hlavnou požiadavkou na regulátor napájania FM prijímača a zvukového zmiešavača je, aby dosahoval nízkeho šumu na výstupe. Pretože napájané zvukové moduly majú pomerne malý odber a tento regulátor beží takmer výlučne v čase keď je naštartovaný motor, jeho efektívnosť nehrá zásadnú rolu. Bol teda zvolený regulátor *ON Semiconductor NCV4275A*. Jeho výstupný prúd dosahuje 450 mA a je určený na použitie v automobilovom priemysle [15].

3.3.7 Zdroj záporného napätia

Operačné zosilňovače použité v zmiešavači zvuku potrebujú aj záporné napätie -5 V. Bolo teda potrebné vybrať vhodný invertor napätia. Pretože sú tieto invertory zvyčajne spínané zariadenia, hlavnou požiadavkou bola čo najvyššia frekvencia. Toto vysokofrekvenčné rušenie nie je ľudské ucho schopné zachytiť. Bol teda zvolený invertor *Maxim MAX1681*, ktorého frekvencia dosahuje až 1 MHz a výstupný prúd 125 mA [12].

3.4 Konštrukcia

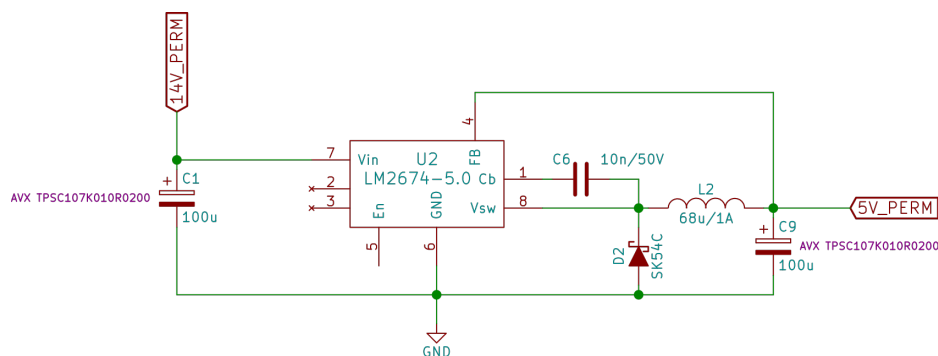
3.4.1 Napájací zdroj

Regulátor stáleho napájania

Na obrázku 3.1 je zobrazená schéma zapojenia regulátora stáleho napájania. Pri jeho konštrukcii boli použité, podľa doporučení výrobcu, tantalové kondenzátory *AVX* série *TPS*. Tie sa vyznačujú nízkym vnútorným odporom a sú určené pre spínané zdroje [4]. Taktiež sú vhodné pre použitie v automobilovom priemysle. Vyhovuje aj rozsah teplôt pri ktorom môžu pracovať (-55 °C až 125 °C).

Podľa odporúčaní výrobcu [21] bola zvolená aj cievka s indukčnosťou 68 μ H. Táto cievka je dimenzovaná na prúd 1 A. Stačilo by aby bola dimenzovaná len na 500 mA, no takáto cievka nebola jednoducho dostupná. Nakoľko sa jedná o cievku, ktorej konštrukcia je toroidná, nebolo nutné si robiť starosti s jej orientáciou na plošnom spoji. Nesprávna orientácia cievok s otvoreným jadrom totiž podľa výrobcu [21] môže spôsobiť problémy.

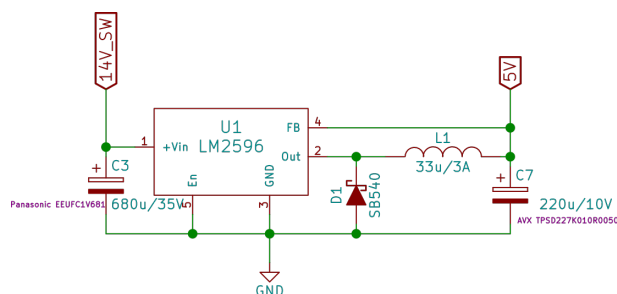
Integrovaný obvod regulátora používa puzdro *SOIC8* a vystačí si s chladičom konštruovaným ako plná plocha medi na plošnom spoji. Výrobcom odporúčané rozmiestnenie súčiastok nemohlo byť dodržané. Bolo však použité rozloženie rešpektujúce minimálne vzdialenosti medzi súčiastkami a prierez vodičov odporúčaný výrobcom.



Obr. 3.1: Regulátor stálego napájania

Regulátor napájania počítača

Na obrázku 3.2 je zobrazená schéma regulátora napájania počítača. Na vstupe bol použitý elektrolytický kondenzátor C3 *Panasonic* s nízkym vnútorným odporom. Na výstupe bol, tak ako v zdroji stálego napájania[3.4.1], použitý kondenzátor AVX série *TPS*.



Obr. 3.2: Regulátor napájania počítača

Parametre cievky sa tiež zhodujú s odporúčaniami výrobcu [20] integrovaného obvodu regulátora a jej konštrukcia je toroidná. Tiež si teda s jej orientáciou netreba robiť starosti.

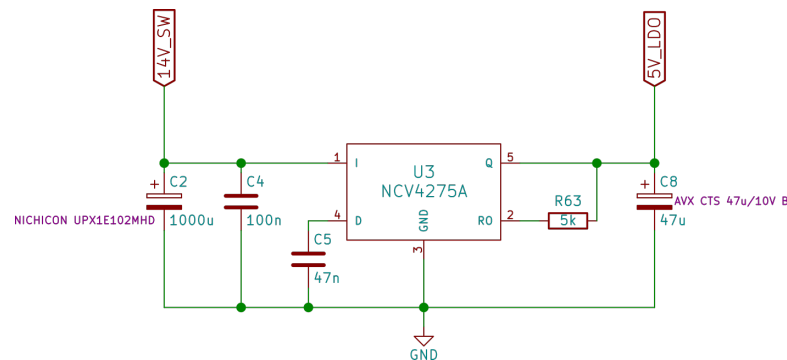
Integrovaný obvod regulátora používa puzdro *TO220-5*. K regulátoru je priskrutkovaný chladič vyrobený z duralového plechu. Práve kvôli umiestneniu tohto chladiča bolo nutné zmeniť výrobcom odporúčané rozmiestnenie súčiastok na plošnom spoji. Bolo ale použité rozmiestnenie, ktoré spĺňa požiadavky na vzdialenosti medzi súčiastkami a prierez vodičov.

Regulátor napájania FM prijímača a zmiešavača zvuku

Obrázok 3.3 zobrazuje zapojenie regulátora FM prijímača a zmiešavača zvuku. Kondenzátor na vstupe bol použitý elektrolytický. Na výstupe bol použitý tantalový kondenzátor AVX série *TAJ*. Jedná sa o štandardný tantalový kondenzátor vhodný na použitie v lineárnych regulátoroch [3]. Ostatné kondenzátory sú keramické. Teplotný rozsah bol volený tak, aby vyhovoval použitiu v automobile.

Integrovaný obvod regulátora je umiestnený v puzdre *DPAK*. Vyžaduje chladič v podobe plnej vrstvy medi na plošnom spoji.

Zdroj záporného napätia bol zhotovený na základe odporúčaní výrobcu [12].



Obr. 3.3: Regulátor napájania FM prijímača a zmiešavača zvuku

Pripojenie k sieti vozidla a vypínač

Obrázok 3.4 znázorňuje pripojenie k palubnej sieti vozidla. Aby bolo zabránené prenášaní rušenia do siete vozidla (POWER_14W) a naopak, je zariadenie k sieti vozidla pripojené cez cievku L3 o indukčnosti 220 μH . Pre vyhladenie prúdu má zariadenie na vstupe aj kondenzátory C10 a C12 každý o kapacite 4700 μF .

Samotný vypínač tvorí relé K1. Pretože počítač nesmie byť odpojený od napájania bez predchádzajúcej prípravy, je toto relé ovládané mikrokontrolérom, ktorý vypne napájanie až potom, ako je na to pripravený počítač. Relé K1 je dimenzované na prúd 10 A a menovité napätie spínacej cievky je 12 V. Prúd tečúci do tejto cievky je regulovaný unipolárnym tranzistorom Q1. Dióda D4 je ochrannou diódou, ktorá skratuje napätie ktoré sa indukuje v cievke relé pri jej odpojení od prúdu.

K terminálu SW je pripojený mikrokontrolér. Pre možnosť manuálneho vypnutia zariadenia je do obvodu zaradený konektor P1, na ktorý je možné pripojiť vypínač, a pull-down rezistor R2 ktorý zabezpečí vypnutie tranzistora Q1 pri rozopnutí tohto vypínača.

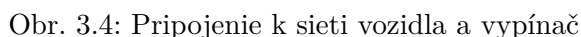
Rezistor R1, dióda D3 a kondenzátor C14 neboli osadené. Po ich osadení je možné zariadenie prevádzkovať aj bez zapojenia mikrokontroléra. Terminál 14V_ENG je pripojený k zapalovaniu vozidla a teda keď je zapalovanie zapnuté, je na tomto termináli napätie siete vozidla. Pri zapnutí zapalovania sa kondenzátor C14 nabíja cez rezistor R1 a po dosiahnutí určitej hranice sa zopne tranzistor Q1. Pri vypnutí napájania sa kondenzátor vybíja cez rezistor R2.

3.4.2 FM prijímač

Obrázok 3.5 zobrazuje zapojenie FM prijímača. Voľbou rezistorov R59 a R60 je možné pripojiť integrovaný obvod prijímača buď na lineárny regulátor napätia alebo na regulátor napätia pre počítač. Napájacie napätie 3.3V pre vstupno — výstupné moduly prijímača (VIO) je čerpané z počítača, nakoľko tento disponuje týmto napätím. Nebolo teda potrebné konštruovať regulátor na 3.3V.

Zapojenie obsahuje ochranné rezistory R51–54 a R61–62 na vstupno — výstupných pinoch a tiež pull-up rezistory na pinoch reprezentujúcich I^2C zbernicu. V súčasnej dobe piny SEN a GPI01 obvodu U12 nie sú pripojené k počítaču, no možnosť pripojiť ich zostala.

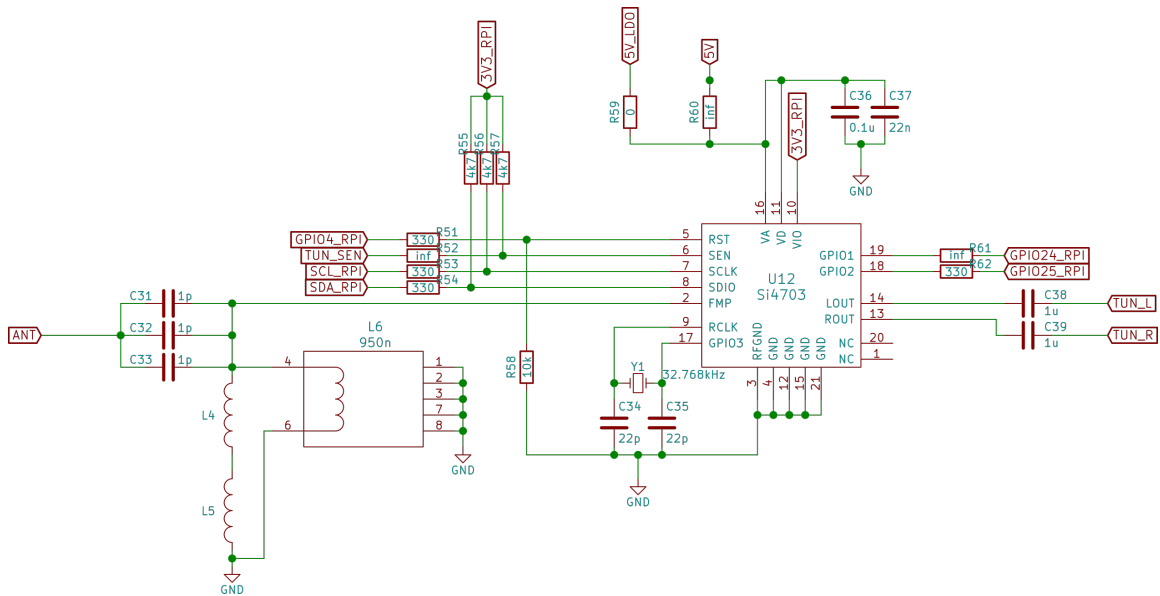
Kvôli čo najlepšiemu príjmu rádia je potrebné prispôbiť impedanciu anténneho vedenia vo vozidle s impedanciou vstupu FM prijímača [7]. Impedancia anténneho vedenia vo vozidle Z_0 , ak je použitý ISO konektor, je 50 Ω . Impedancia anténneho vstupu obvodu U12 Z_L je


$$|Z_L| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_L^2} + \frac{1}{X_L^2}}}[\Omega] \quad (3.1)$$
$$X_L = -\frac{1}{2\pi fC}[\Omega] \quad (3.2)$$

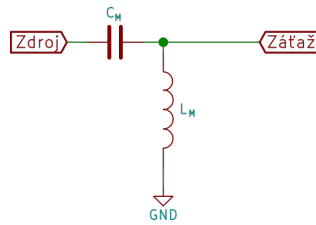
Literatúra [7][8] uvádza, že ak je impedancia zdroja Z_S nižšia ako impedancia záťaže Z_L , je potrebné skonštruovať prispôsobovací obvod ktorého schéma je zobrazená na obrázku 3.6.

$$B_M = \frac{X_L \pm \sqrt{\frac{R_L}{Z_S}} \sqrt{R_L^2 + X_L^2 - Z_S R_L}}{R_L^2 - X_L^2} [S] \quad (3.3)$$

$$X_M = \frac{B_M Z_S R_L}{1 - B_M X_L} [\Omega] \quad (3.4)$$



Obr. 3.5: FM prijímač



Obr. 3.6: Zapojenie obvodu impedančného prispôsobenia

Prevod susceptancie B_M na indukčnosť cievky L_M môžeme urobiť pomocou rovnice 3.5 a prevod reaktancie X_M na kapacitu podľa rovnice 3.2.

$$L_M = \frac{1}{2\pi f B_M} [H] \quad (3.5)$$

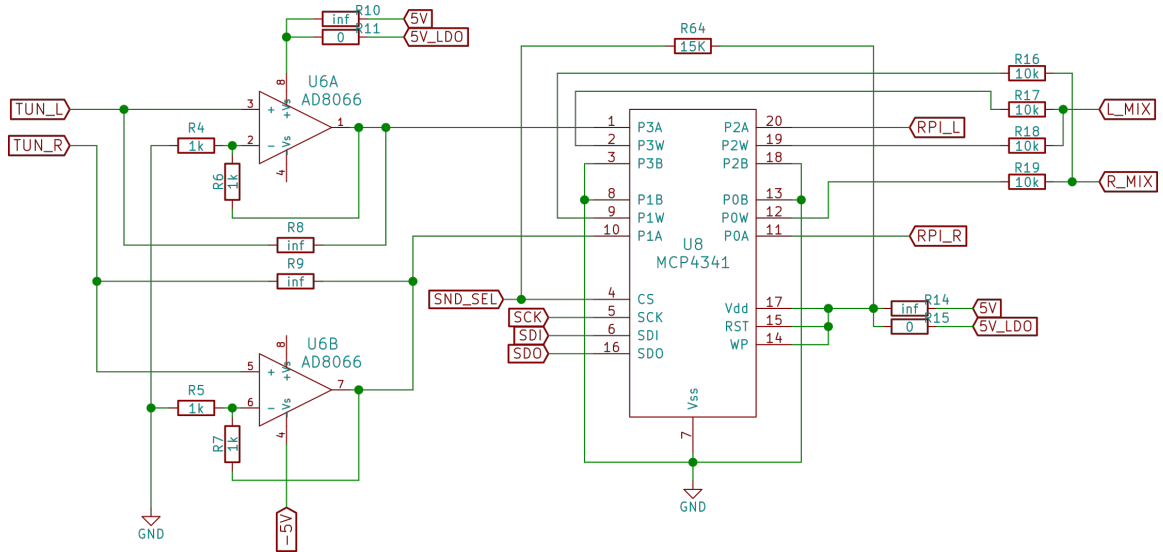
Po dosadení do týchto rovníc zistíme, že kapacita kondenzátora C_M je 3.66 pF a indukčnosť cievky L_M 726 nH. Na trhu sa bohužiaľ nevyskytujú súčiastky s danými parametrami. Bolo teda použité paralelné zapojenie troch kondenzátorov (C31–33) po 1 pF). Toto zapojenie počíta s parazitnými kapacitami plošného spoja a je ho možné ladiť odobratím, prípadne výmenou niektorého z týchto kondenzátorov. Kondenzátor s nastaviteľnou kapacitou nebol použitý kvôli nízkej odolnosti voči zmenám teploty a vlhkosti. Ako cievka bola použitá cievka s nastaviteľnou indukčnosťou L3. Cievky L5 a L6 zostali neosadené.

3.4.3 Zvukové obvody

Zmiešavač zvuku

Na obrázku 3.7 je znázornené zapojenie zmiešavača zvuku z FM prijímača a z počítača. Terminály TUN_L a TUN_R predstavujú vstup ľavého a pravého kanálu z FM prijímača a terminály RPI_L a RPI_R sú vstupmi ľavého a pravého kanálu z počítača. Aby bola veľkosť amplitúdy zvuku z FM prijímača približne rovnaká ako veľkosť amplitúdy zvuku z počítača,

bola použitá dvojica operačných zosilňovačov (U6A a U6B). Zapojenie je pripravené aj na možnosť neosadenia týchto zosilňovačov. V tom prípade sa na miesto rezistorov R8 a R9 osadia rezistory s hodnotou $0\ \Omega$, teda prepojky.



Obr. 3.7: Zapojenie obvodu zmiešavača zvuku

Obvod ďalej obsahuje štvorkanálový digitálny potenciometer U8. Tento slúži na nastavenie hlasitosti každého vstupného kanálu zvlášť. Tento potenciometer je prepojený pomocou zbernice *SPI* s počítačom. Po nastavení hlasitosti každého kanálu, sú po výstupe z potenciometra U8 pomocou rezistorov R16–19 sčítané ľavý a pravý kanály FM prijímača a počítača. Vznikne tak združený ľavý (L_MIX) a pravý (R_MIX) zvukový kanál [14].

Zapojenie umožňuje zvoliť, ku ktorému napájacímu zdroju budú pripojené operačné zosilňovače a digitálny potenciometer. Je teda možné experimentovať s pripojením obvodov na iný zdroj a sledovať pri tom vplyv na rušenie prenášané do zvuku.

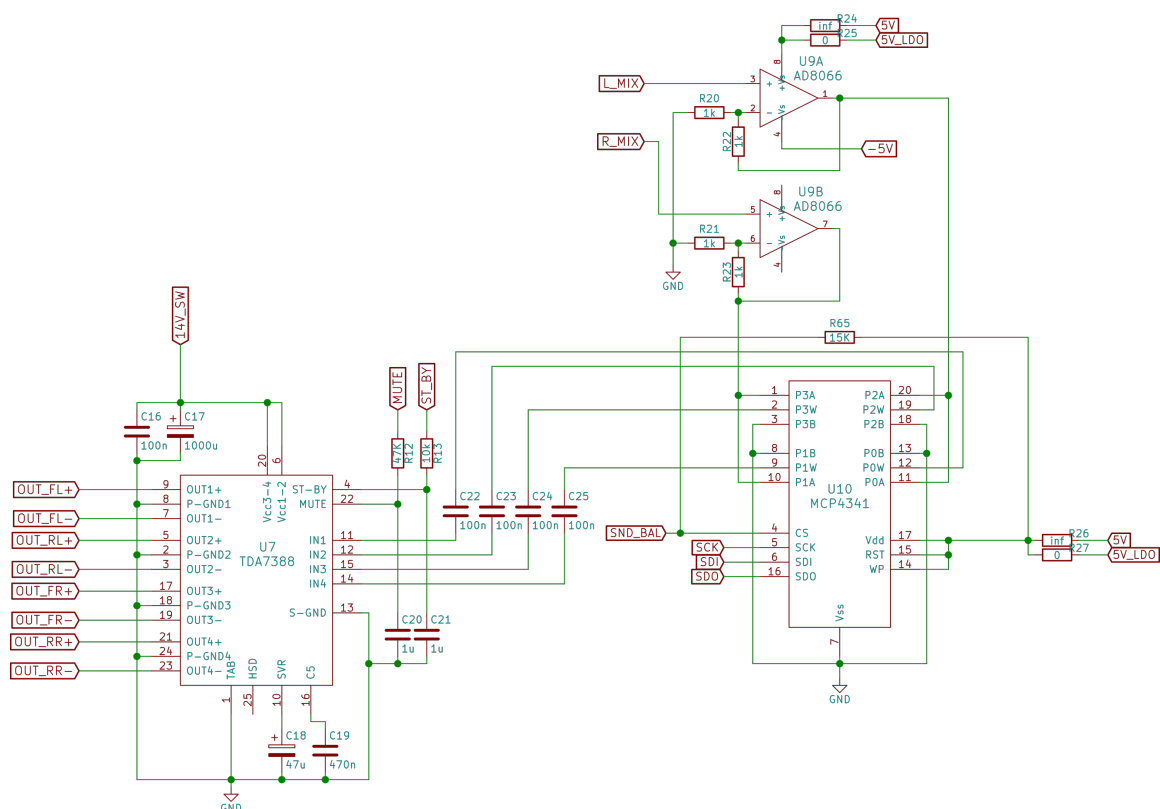
Vyváženie zvuku a výkonový zosilňovač

Ako znázorňuje obrázok 3.8, kvôli dosiahnutiu dostatočnej tvrdosti a amplitúdy zvukového signálu bola do obvodu vložená ďalšia dvojica operačných zosilňovačov (U9A a U9B). Zvuk z týchto zosilňovačov prechádza štvorkanálovým digitálnym potenciometrom U10, ktorý nastavuje hlasitosť pre každý kanál zvlášť (vľavo–vpravo, vpredu–vzadu). Digitálny potenciometer je pripojený pomocou zbernice *SPI* k počítaču. Tak isto ako pri zmiešavači zvuku, je možné zvoliť zdroj napájania.

Zapojenie výkonového zosilňovača je štandardné, teda podľa odporúčaní výrobcu [19]. Jeho vývody MUTE a ST-BY sú pripojené na mikrokontrolér. Obvod je umiestnený v puzdre *Flexiwatt25* a pretože produkuje takmer 50 W tepla, je potrebné ho dostatočne chladiť. Je preto priskrutkovaný na masívny chladič z duralového plechu, ktorý zdieľa spolu s regulátorom napätia pre počítač.

3.4.4 Mikrokontrolér

Zapojenie mikrokontroléra (obrázok 3.9) je pomerne jednoduché. Mikrokontrolér je spojený s displejom a diaľkovým ovládačom vstavaným vo vozidle za pomoci zbernice *I²C*. Nejedná



Obr. 3.8: Zapojenie obvodu vyváženia zvuku a výkonového zosilňovača

sa o štandardnú zbernicu I^2C [17], pretože bola konštruktérmi zmieňaného displeja rozšírená o signál MRQ , teda o signál prerušenia. Zapojenie obsahuje aj pull-up rezistory R37–39, ktoré patria k tejto zbernici.

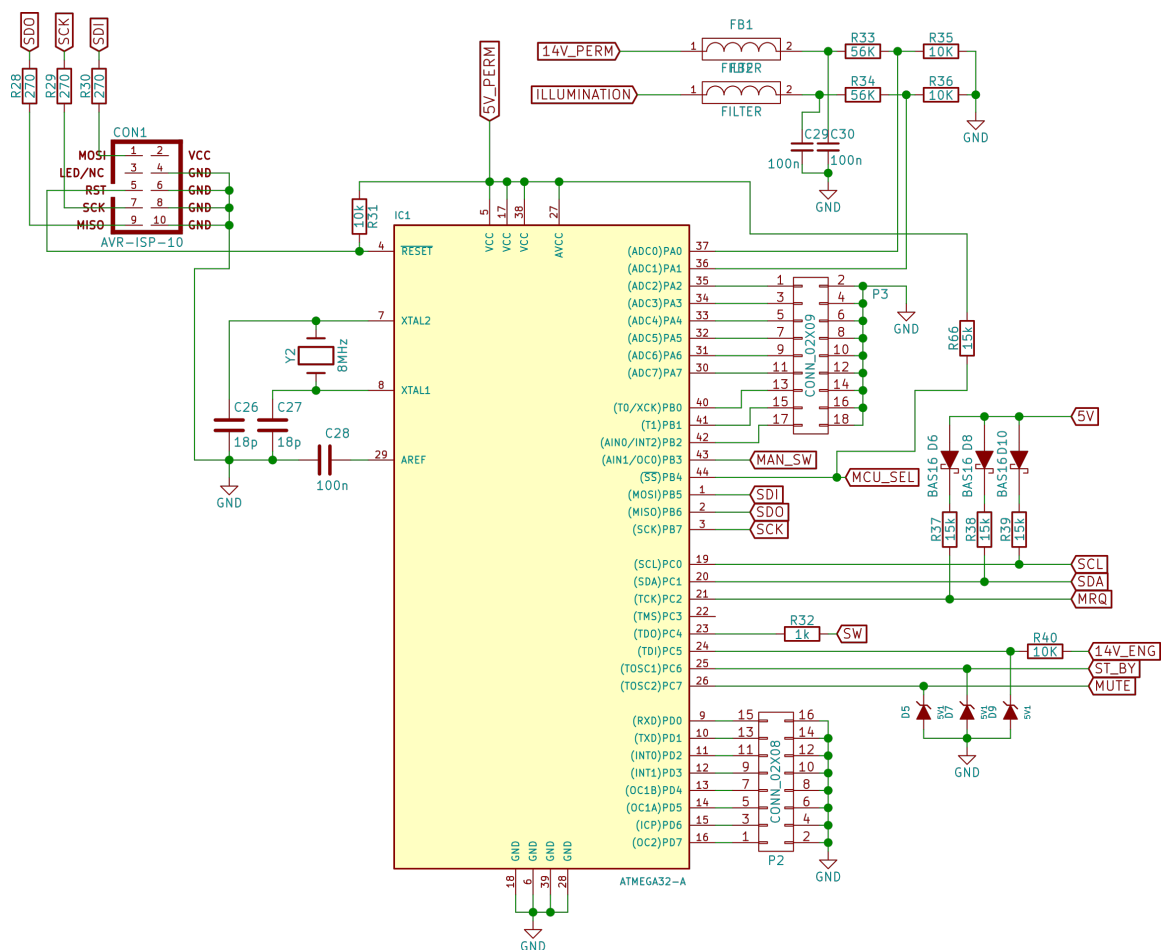
Mikrokontrolér je ďalej pripojený na riadiace piny výkonového zosilňovača (MUTE a ST-BY) a na zapalovanie vozidla 14V_ENG. Pretože ako zosilňovač tak aj zapalovanie vozidla používajú napätie vyššie ako 5.5 V (maximálne prípustné napätie na pinoch mikrokontroléra), boli na zníženie tohto napätia použité Zenerove diódy [9] D5, D7 a D9.

Mikrokontrolér komunikuje s počítačom za pomoci zbernice SPI . Ovládanie vypínača zariadenia je vyvedené na terminál SW.

Pri návrhu zapojenia mikrokontroléra bol kladený dôraz na možnosť neskoršieho rozšírenia zariadenia. Takmer všetky nevyužité piny sú teda vyvedené na konektory P2 a P3. Zapojenie tiež obsahuje odporové deliče určené na zníženie napätia elektrickej sústavy 14V_PERM a napätia podsvietenia prístrojov ILLUMINATION pre účely merania jeho veľkosti za pomoci analógovo — digitálneho prevodníka, ktorý je vstavaný v čipe [2].

3.4.5 Pripojenie počítača

Digitálne pripojenie počítača k zvyšku zariadenia je zabezpečené pomocou 40 žilového plochého kábla, pripojeného ku konektoru P7. Tento kábel združuje všetky vstupno — výstupné piny počítača, aj keď ich je v súčasnosti využitá len časť. Ako znázorňuje obrázok 3.10, všetky vstupno — výstupné piny počítača sú vyvedené aj na plošnom spoji zariadenia a to za pomoci konektorov P5 a P8. Vyvedené boli kvôli možnosti neskoršieho rozšírenia zariadenia.



Obr. 3.9: Zapojenie mikrokontroléra

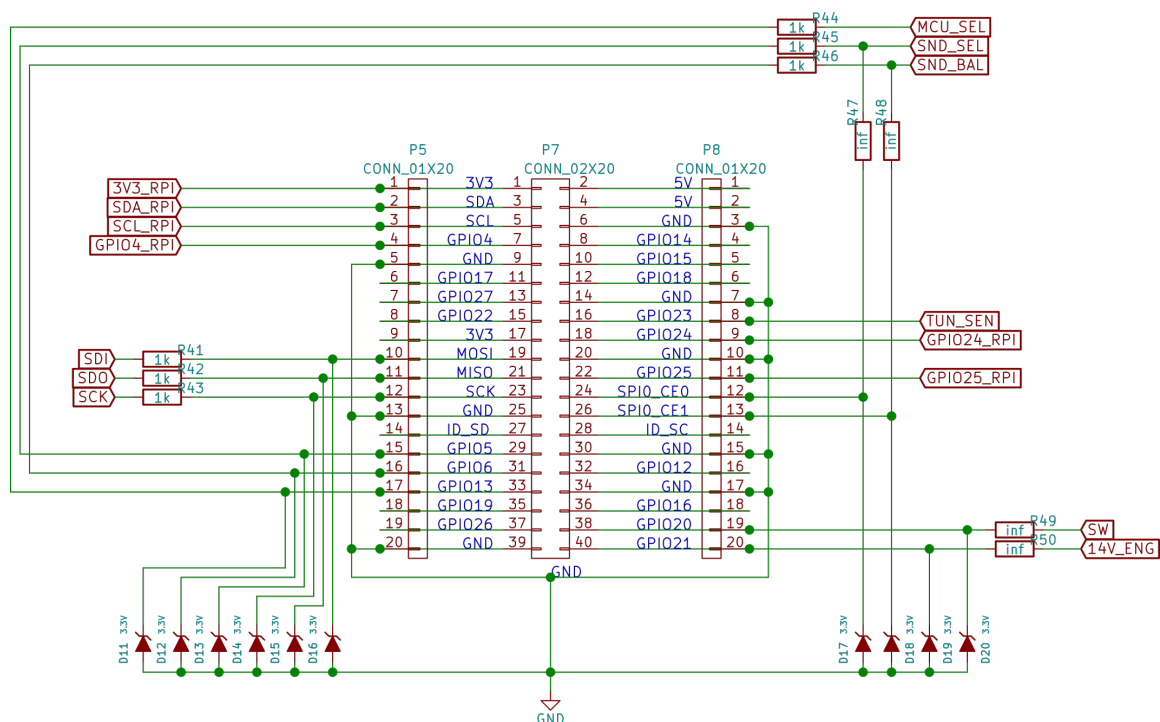
Pretože zbernica počítača pracujú na napätí 3.3 V a nie sú tolerantné napätiu 5V, bolo nutné zaradiť ochranné rezistory a Zenerove diódy, ktoré toto napätie znížia na 3.3V [9].

Radič *SPI* zbernica počítača je stavaný len na komunikáciu s dvomi slave zariadeniami. Toto obmedzenie vyplýva z toho, že počítač disponuje iba dvomi pinmi (*SPIO_CEO* a *SPIO_CE1*) určenými primárne na výber zariadenia (slave select). Pretože počítač potrebuje komunikovať s tromi zariadeniami (mikrokontrolér a dva digitálne potenciometre), bolo toto obmedzenie obídene za pomoci univerzálnych vstupno — výstupných pinov. Možnosť použitia natívnych pinov však zostala zachovaná. Je možné ich uviesť do prevádzky osadením rezistorov *R47* a *R48* pri súčasnom odstránení resistorov na korešpondujúcich vstupno — výstupných pinoch.

Počítač tiež komunikuje po zbernici I^2C s FM prijímačom. Pri tejto komunikácii používa aj vstupno — výstupné piny *GPIO4* a *GPIO25*. Piny *GPIO24* a *GPIO23* sú v súčasnosti nevyužívané, no je ich možné použiť pri inej konfigurácii FM prijímača.

Zapojenie bolo navrhnuté tak, aby počítač mohol ovládať aj výkonový zosilňovač (namiesto mikrokontroléra). Slúžia k tomu terminály *MUTE* a *ST-BY*. Tu je tiež potrebné pripojiť Zenerove diódy [9], nakoľko výkonový zosilňovač pracuje s napätím vyšším ako 3.3 V.

Počítač je pripojený na napäťový zdroj za pomoci zvláštneho kábla. Taktiež je pomocou zvláštneho kábla riešený prenos zvuku k zmiešavaču. Počítač s displejom tvoria jeden celok a sú prepojené pomocou špeciálneho plochého kábla.



Obr. 3.10: Schéma pripojenia počítača

3.5 Oživenie zariadenia

Ako prvé boli osadené napäťové regulátory a obvody súvisiace s vypínaním zariadenia. Zapojenie regulátorov bolo testované pripojením na zdroj s obmedzovačom prúdu. Regulátory vykazovali odber, ktorý sa zhodoval s dokumentáciou a aj ich výstupné napätie bolo v norme.

Po oživení regulátorov nasledovalo osadenie obvodov spracúvajúcich zvuk. Tieto obvody boli tiež testované pri pripojení na zdroj s obmedzením prúdu. Vďaka tejto skutočnosti došlo k odhaleniu nedokonalého pájkovaného spoja, ktorý vykazoval skrat. Po odstránení tejto poruchy nasledoval pokus o komunikáciu medzi počítačom a digitálnymi potenciometrami za pomoci zbernice *SPI*. Tento test dopadol úspešne.

Obdobne boli testované aj výkonový zosilňovač zvuku a mikrokontrolér. Po ich otestovaní a naprogramovaní mikrokontroléra došlo k testu prehrávania zvuku a teda k testu väčšiny komponentov zariadenia. Test dopadol úspešne.

Ako posledný bol osadený modul FM prijímača. Po odskúšaní komunikácie po zbernici *I²C* bol prevedený test príjmu rozhlasového vysielania. Aj tento test dopadol úspešne.

Pri oživovaní zariadenia bolo zistené, že relé ktoré zabezpečuje vypínanie zariadenia niekedy zostáva zopnuté aj po odpojení napájania jeho cievky — zostáva zlepené. Je to síce vada súčiastky, no treba s ňou počítať, pretože nevypnutie tohto relé by mohlo spôsobiť vybitie batérie vozidla po jeho odstavení. Vďaka tomu, že nevyužívané piny mikrokontroléra boli vyvedené na konektory umiestnené na doske plošných spojov, bolo možné zariadenie doplniť a kontrolu vypnutia tohto relé.

Kapitola 4

Softvérová časť

4.1 Koncepcia

Softvér zariadenia pozostáva z troch hlavných častí. Jedná sa o grafické užívateľské rozhranie, softvér zabezpečujúci komunikáciu s hardvérom a softvér zabezpečujúci samotné prehrávanie zvukových súborov.

Počítač používa plnohodnotný linuxový operačný systém *Fedora* nad ktorým bežia ostatné programy. Beží na ňom program *ioserver*, ktorý zaobstaráva komunikáciu medzi počítačom a ostatnými komponentami. Tiež zaobstaráva korektné vypnutie počítača po vypnutí zapalovania. Popri tomto programe systém obsahuje aj iné služby ktoré sa starajú napríklad o pripojenie *USB* diskov.

Grafické užívateľské rozhranie zabezpečuje interakciu medzi človekom a autorádiom. Stará sa aj o zobrazenie hudobnej zbierky, uloženie nastavení a rozhlasových staníc. Grafické užívateľské rozhranie však neobsahuje prehrávač zvukových súborov. Na prehrávanie zvukových súborov sa používa *Music Player Daemon*, ktorý tiež zabezpečuje správu hudobnej zbierky.

4.2 Návrh

Pri návrhu boli vytýčené nasledovné požiadavky:

- Dlhodobá udržiavateľnosť softvéru
- Využitie čo najväčšieho množstva existujúcich knižníc a programov
- Jednoduchá rozšíriteľnosť zariadenia o ďalší softvér
- Jednoduché a prehľadné užívateľské rozhranie
- Použitie výlučne otvoreného softvéru

4.2.1 Operačný systém

Najčastejšie používaným operačným systémom na počítači *Raspberry Pi 2* je bez pochyb *Raspbian*. Je to systém ktorý vychádza z linuxovej distribúcie *Debian*. Podpora operačného systému *Raspbian* však nedosahuje takej úrovne, ako podpora systémov ako *Red Hat Enterprise Linux* a jeho klonu *CentOS*. *Red Hat Enterprise Linux 7* má podporu minimálne

do roku 2024 a rovnako je na tom *CentOS 7* [6]. Jediným problémom pri týchto systémoch je to, že v čase návrhu tohto zariadenia ešte neboli dostupné všetky (doplnkové) repozitáre kompatibilné s architektúrou počítača *Raspberry Pi 2*. Pretože sa očakáva zverejnenie aj týchto repozitárov, bol použitý systém príbuzný, pre ktorý už tieto repozitáre existujú. Týmto systémom je *Fedora 23*.

Nedá sa síce povedať, že *Fedora 23* je stabilným systémom s dlhou podporou, no prechod z tohto systému na systém *CentOS 7* by nemal byť nijakým spôsobom zložitý (jedná sa o migráciu pomerne jednoduchého systému, pri komplexnejších systémoch je každá migrácia zložitý proces).

4.2.2 Prehrávač zvukových súborov a dekódovanie zvukových formátov

K dekódovaniu a prehrávaniu zvukových súborov je možné sa postaviť viacerými spôsobmi. Prvou možnosťou je naprogramovať celý hudobný prehrávač s použitím knižníc na spracovanie zvuku. Druhou možnosťou je použiť hotový hudobný prehrávač.

Zvukové knižnice

Knižnica *libsndfile* [5] umožňuje prehrávanie veľkého množstva bezstratových hudobných formátov vrátane formátu *FLAC*. Zvláda prehrávanie zvukových súborov kódovaných pomocou *PCM*, *DPCM* a rôznych ďalších kódovaní. Táto knižnica však nedisponuje schopnosťou prehrávať súbory vo v dnešnej dobe veľmi obľúbenom formáte *mp3*.

Ďalšou knižnicou ktorá umožňuje prehrávať zvuk je *libao* [23]. Tiež umožňuje prehrávať rôzne formáty vrátane formátov *FLAC*, *Ogg* a *Vorbis*. Tak ako knižnica *libsndfile* ani táto knižnica neumožňuje priamo prehrávať zvuk vo formáte *mp3*.

Na prehrávanie zvuku vo formáte *mp3* existuje knižnica *libmp123*. Táto síce neumožňuje priame prehrávanie zvuku vo formáte *mp3*, no môže tento formát konvertovať do surových audio dát *RAW* a tieto je následne možné prehrať pomocou knižnice *libao*.

Hotový hudobný prehrávač

Existuje veľké množstvo hudobných prehrávačov pre linuxové operačné systémy, no väčšina z nich nedisponuje použiteľným dotykovým rozhraním.

Snáď jediným použiteľným prehrávačom s dotykovým rozhraním je *XBMC*. Jedná sa o pomerne prepracovaný prehrávač, ktorý si poradí aj s videom a automatickým sťahovaním tituliek z internetu. Tiež je možné do tohto prehrávača doinštalovať veľké množstvo doplnkov.

Existujú ale aj prehrávače bez užívateľského rozhrania. Jedným z nich je *Music Player Daemon*. Tento prehrávač beží ako služba a je ho možné ovládať pomocou klienta. Zvládne prehrať veľké množstvo hudobných súborov a spravovať hudobnú kolekciu. Existuje tiež knižnica *libmpdclient* [10], ktorá môže byť použitá pri implementácii klienta.

Zhodnotenie

Pretože tvorba úplne nového hudobného prehrávača by bola pomerne náročnou záležitosťou a jeho dlhodobá údržba by bola zložitá, bolo rozhodnuté použiť niektorý z existujúcich hudobných prehrávačov. Výhodou prehrávača *XBMC* je, že poskytuje hotové riešenie. Jeho nevýhodou však je, že nie je stavaný priamo pre autorádio a má pomerne vysoké hardvérové nároky.

Zvolené bolo teda riešenie používajúce hudobný prehrávač *Music Player Daemon* ku ktorému bol za pomoci knižnice *libmpdclient* vytvorený klient — grafické užívateľské rozhranie na mieru pre autorádio. Takto zostane dostatočné množstvo výpočtových prostriedkov pre ostatné aplikácie, napríklad pre *GPS* navigáciu.

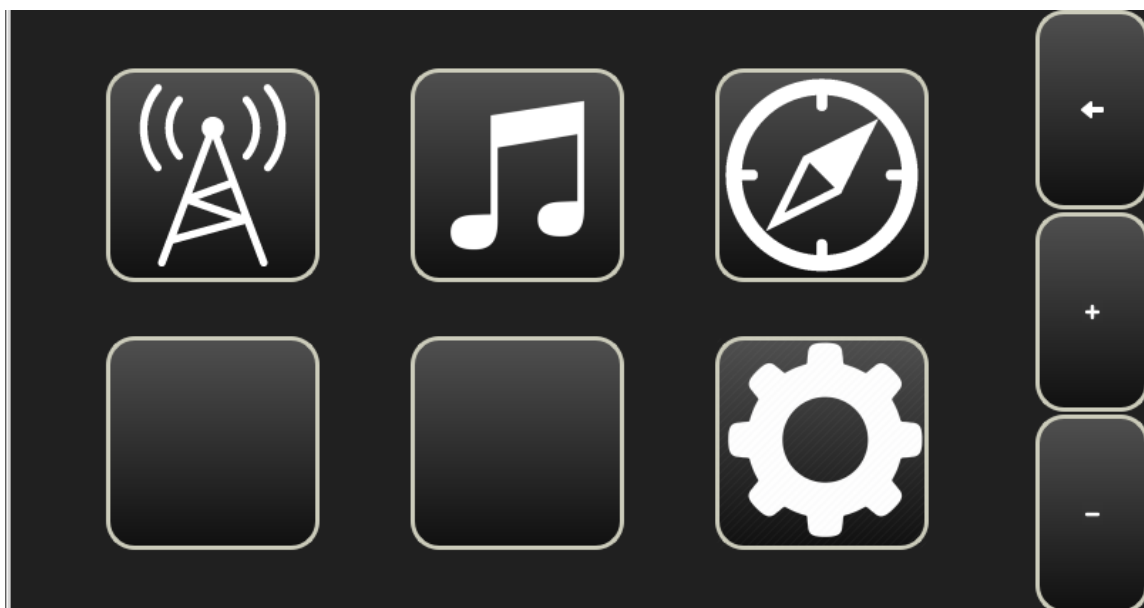
4.2.3 Grafické užívateľské rozhranie

Grafické užívateľské rozhranie autorádia musí byť mimoriadne prehľadné, aby nevyžadovalo príliš veľa času vodiča na ovládanie. Bolo teda zvolené rozhranie, ktoré je intuitívne a jednoduché.

Domovská obrazovka

Domovská obrazovka (zobrazená na obrázku 4.1) prináša prehľadný rozcestník k základným funkciám autorádia. Sú nimi rádio, prehrávač hudobných súborov a nastavenia. V blízkej dobe tiež pribudne navigácia (zostáva pridať *GPS* modul a anténu). Ostatné dve voľné tlačidlá sú prenechané na ďalšie rozšírenie funkcionality.

Tlačidlá na pravej strane displeja ponúkajú nastavenie hlasitosti. Vpravo hore sa nachádza tlačidlo "Spät". Služi na návrat v stromovej štruktúre aplikácie. Na domovskej obrazovke je jeho význam nulový, no pre zachovanie konzistencie s ostatnými obrazovkami bolo ponechané. Tieto tri tlačidlá sa nachádzajú na každej obrazovke.



Obr. 4.1: Grafické užívateľské rozhranie domovskej obrazovky

Hudobný prehrávač

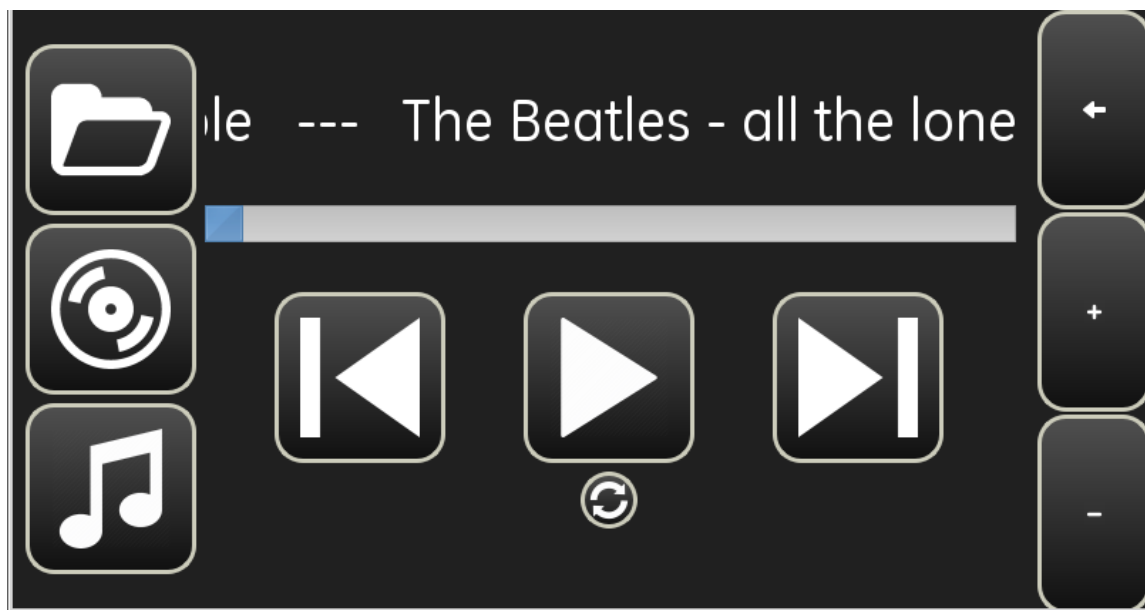
Hudobný prehrávač obsahuje základné funkcie, nakoľko sa nepredpokladá, že niekto bude chcieť na autorádiu vytvárať playlisty a podobne.

Po rozhraní hudobného prehrávača bolo požadované nasledovné:

- Organizácia hudobnej zbierky podľa autorov a albumov

- Organizácia hudobnej zbierky podľa adresárovej štruktúry
- Organizácia hudobnej zbierky podľa abecedy
- Jednoduchá navigácia v hudobnej zbierke a ovládanie prehrávača

Bolo teda navrhnuté rozhranie zobrazené na obrázku 4.2. Tlačidlá na ľavej strane displeja umožňujú navigáciu hudobnou zbierkou podľa súborovej štruktúry, podľa interpretov a albumov a tiež abecedné zoradenie hudobnej zbierky. Význam ostatných tlačidiel je zrejmý.



Obr. 4.2: Grafické užívateľské rozhranie hudobného prehrávača

V riadku vo vrchnej časti displeja sa zobrazuje názov a interpret práve hrajúcej skladby, prípadne meno súboru ak tieto informácie nie sú dostupné. Ak sa tento text nezmestí na displej, je zabezpečená jeho rotácia.

Rádio

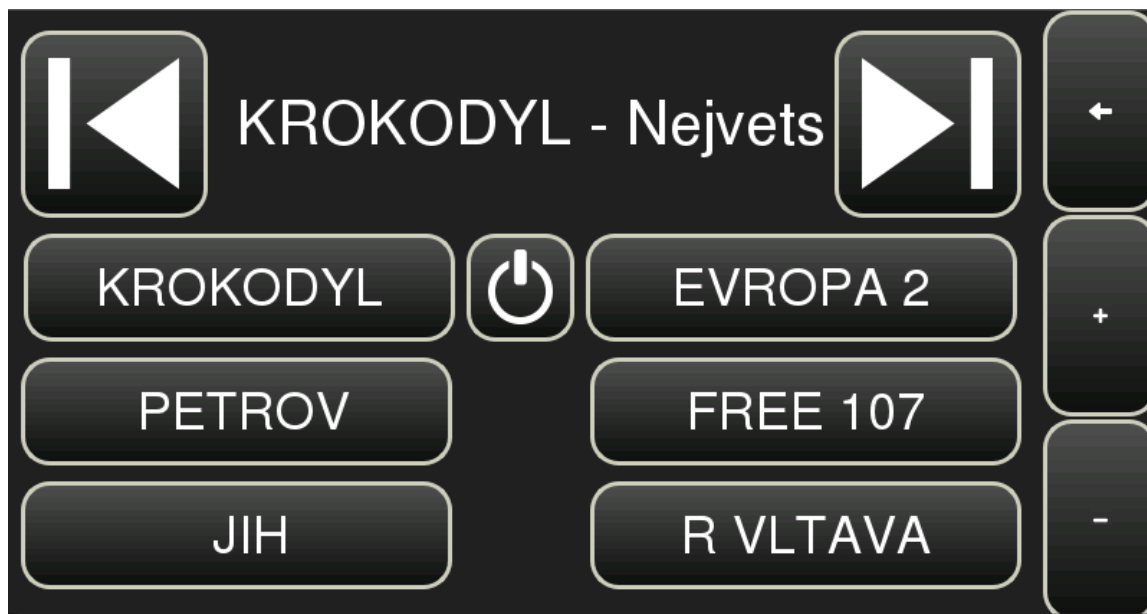
Grafické užívateľské rozhranie rádia (zobrazené na obrázku 4.3) je tiež minimalistické. V riadku v hornej časti displeja je zobrazený názov práve naladenej stanice nasledovaný doplnkovým textom vysielaným cez *RDS*. V prípade, že tieto údaje vysielané nie sú alebo ich príjem nie je možný, je v tomto riadku zobrazená frekvencia. V hornej časti displeja sa tiež nachádzajú tlačidlá ladenia rozhlasových staníc.

Ďalej toto rozhranie obsahuje tlačidlá na voľbu uložených staníc. Ukladanie staníc prebieha podobne ako je tomu u komerčných autorádií a to podržaním tlačidla kam chceme uložiť aktuálnu stanicu.

Rozhranie ďalej obsahuje tlačidlo pre vypnutie/zapnutie rádia.

Nastavenia

Komerčne dostupné autorádiá zvyčajne obsahujú aj možnosť nastavenia vyváženia zvuku. Nie vždy to však je jednoduché a priamočiare. Grafické užívateľské rozhranie nastavení



Obr. 4.3: Grafické užívateľské rozhranie rádia

(zobrazené na obrázku 4.4) ponúka jednoduché nastavenie vyváženia zvuku za pomoci posuvníkov.

Obdobným spôsobom je možné nastaviť aký podiel na celkovej hlasitosti bude mať FM prijímač a aký hudobný prehrávač. V súčasnosti je opodstatnenie tohto nastavenia pomerne nízke, no v čase keď bude fungovať navigácia, bude možné nastaviť pomer hlasitosti navigácie a ostatného prehrávaného zvuku.

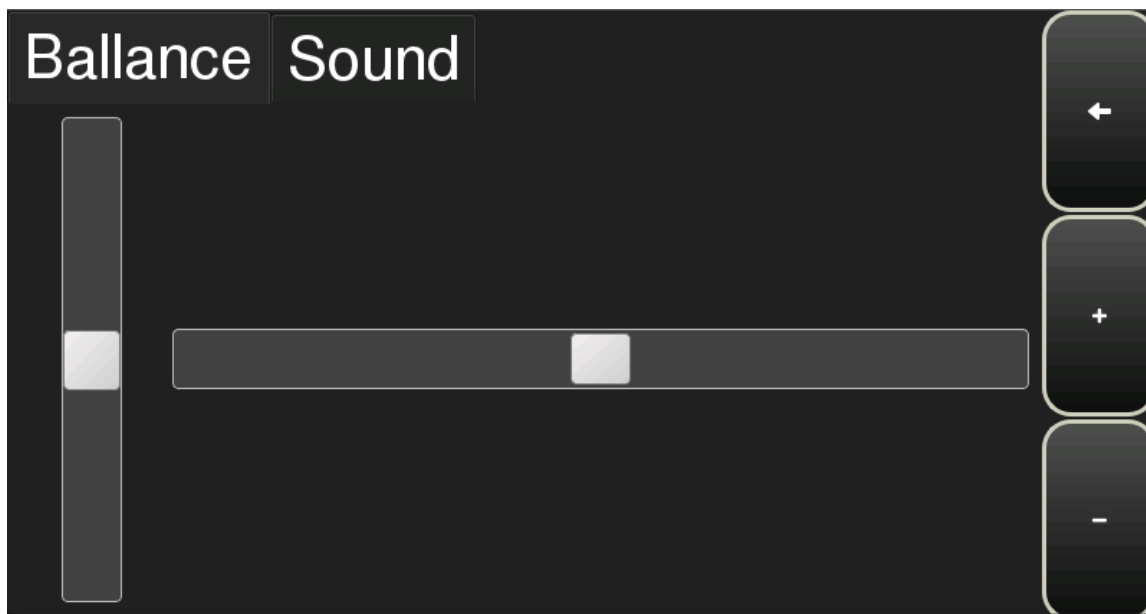
Displej a diaľkový ovládač vo vozidle

Dnešné vozidlá bývajú vybavené ovládačom autorádia pod volantom. Vodičovi to umožňuje ovládať autorádio bez toho aby dal dole ruku z volantu. Niektoré vozidlá tiež obsahujú jednoduchý displej, ktorý je v zornom poli vodiča. Grafické užívateľské rozhranie je pripravené aj na túto možnosť. Je schopné vypísať na tento displej aktuálne naladenú stanicu a tiež meniť nastavenie hlasitosti prostredníctvom diaľkového ovládača.

4.2.4 Ovládanie hardvéru

Ďalším problémom je ovládanie hardvérových komponentov. Program ktorý zabezpečuje grafické užívateľské rozhranie by mohol komunikovať s hardvérom priamo. Komunikácia s hardvérom je však špecifická a prináša isté riziká. Jedná sa napríklad o nemožnosť súčasného prístupu k viacerým zariadeniam na zbernici *SPI*. Grafické aplikácie sú mnohokrát viacvláknové a synchronizovanie týchto vlákien kvôli prístupu k hardvérovým zariadeniam by mohlo spôsobovať problémy. Tiež je vhodné aby program ktorý ovláda hardvérové zariadenia bol čo najjednoduchší a neobsahoval zbytočné závislosti. Ak sa teda napríklad stane, že kvôli nejakému problému nenašartuje X server, je vhodné aby mohlo bežať ovládanie hardvérových zariadení.

Bolo teda rozhodnuté oddeliť program ktorý komunikuje s hardvérom od grafického užívateľského rozhrania. Program bol navrhnutý tak aby mohol bežať ako služba a to od



Obr. 4.4: Grafické užívateľské rozhranie nastavení

štartu počítača až do jeho vypnutia. Táto služba bola navrhnutá tak, aby zaobstarávala všetku komunikáciu s hardvérom.

4.3 Implementácia

4.3.1 Grafické užívateľské rozhranie

Výber programovacieho jazyka a frameworku

Po užívateľskom rozhraní bolo požadované aby nemalo príliš vysoké nároky na výpočtový výkon počítača a teda aby zostal priestor pre ďalšie rozšírenie zariadenia. Preferovaným programovacím jazykom teda bolo *C++*, pretože sa jedná o jazyk prekladaný, ktorý je relatívne blízko k hardvéru a jeho prekladače sú pomerne dobre optimalizované. Oproti jazyku *C* poskytuje mnohé výhody.

Ďalším v poradí bol výber vhodného grafického frameworku. Do úvahy prichádzali frameworky *GTK*, *Qt* a knižnica *SDL*. Knižnica *SDL* bola vylúčená pre prílišnú jednoduchosť. Framework *GTK* bol vylúčený pretože sa jedná o framework napísaný v jazyku *C*. Implementuje síce vlastný objektový model, no práca s ním by bola zložitejšia. Zvolený bola teda framework *Qt*. *Qt* sa navyše vyznačuje vynikajúcou dokumentáciou [22].

Komunikácia s hudobným prehrávačom

Na komunikáciu so zvukovým prehrávačom *Music Player Daemon* bola použitá knižnica *libmpdclient*. Táto knižnica je však napísaná v jazyku *C* a jej použitie nie je úplne priamočiare. Pre komunikáciu s hudobným prehrávačom bola teda naprogramovaná trieda *mpdPlayer*, ktorá zapuzdruje potrebné funkcie tejto knižnice. Táto trieda je plne nezávislá na frameworku *Qt*.

Hudobný prehrávač *Music Player Daemon* zabezpečuje aj správu hudobnej zbierky. Užívateľské rozhranie spracúva pomocou triedy *mpdPlayer* tieto údaje a vytvára stromovú

štruktúru skladieb podľa ich umiestnenia v súborovom systéme a podľa ich autora a názvu albumu. Tiež vytvára abecedný zoznam týchto skladieb.

Informácie o aktuálne hrajúcej skladbe a o celkovom stave hudobného prehrávača sú získavané pomocou pravidelných dotazov na tento prehrávač. Pretože objem prenášanej komunikácie nie je veľký a intervaly dosahujú niekoľko desiatín sekundy, dopady na výpočtovú náročnosť sú pomerne nízke.

Pretože sa jedná o autorádio a nepočíta sa s tým, že si bude užívateľ vyberať každú skladbu osobitne, program prehrá postupne všetky skladby v danom albume alebo priečinku, počínajúc zvolenou skladbou. Pri otvorení ktoréhokolvek zo zoradenia skladieb (podľa priečinka, podľa autora a albumu a podľa abecedy) je vždy vyznačená aktuálne hrajúca skladba.

Ukladanie nastavení

Nastavenia uskutočnené v užívateľskom rozhraní musia byť uložené do nejakého perzistentného úložiska, aby mohli byť obnovené po jeho reštarte. Jedná sa konkrétne o nastavenie vyváženia, hlasitosti a o uložené rozhlasové stanice. Kvôli svojej nenáročnosti a jednoduchosti [16] bol na tento účel zvolený *The GNU database manager* a teda knižnica *libgdbm*. Nastavenia sa ukladajú do domovského adresára užívateľa, pod ktorým beží aplikácia grafického užívateľského rozhrania.

Komunikácia s hardvérom

Komunikácia s hardvérom neprebíha priamo. Všetka komunikácia prebieha cez program *ioserver* ktorý beží ako daemon (popísaný bližšie v bode 4.3.2). Komunikačné rozhranie je zapuzdrené do triedy `hwPlayer`. Pomocou tohto rozhrania je možné nastavovať hodnoty jednotlivých hardvérových komponentov a tiež tieto hodnoty čítať.

4.3.2 Ovládanie hardvéru

Ako už bolo spomenuté, komunikáciu s hardvérom zabezpečuje počas behu systému program *ioserver*. Pretože sa jedná o jednoduchý program, ktorý musí komunikovať s hardvérom, bol použitý jazyk *C*.

Jedná sa o konkurentný server, ktorý kvôli rýchlosti používa na komunikáciu sockety typu *AF_UNIX*. Tento server komunikuje s jednotlivými hardvérovými zariadeniami a podľa požiadavkov klienta nastavuje alebo číta ich parametre. Na ovládanie *GPIO* pinov počítača a zbernic *SPI* a *I²C* bola použitá knižnica *libwiringpi*.

Pretože sa jedná o server konkurentný, môže bežať vo viacerých procesoch. Aby nedošlo k súčasnému prístupu viacerých procesov k hardvérovým zariadeniam, boli použité semaforey.

Komunikácia s mikrokontrolérom

Program *ioserver* sa tiež stará o korektné vypnutie počítača pri vypnutí zapalovania. Obsahuje preto proces, ktorý sa v pravidelných intervaloch dotazuje mikrokontroléra na stav zariadenia. Stav zariadenia zahŕňa aj informáciu o tom, ktoré tlačidlá boli stlačené na diaľkovom ovládači pod volantom. Informácie o stlačených tlačidlách ukladá do zdieľanej pamäte, aby keď príde na server dotaz na stlačené tlačidlá, mohol tento okamžite zodpovedať. Tento postup tiež šetrí značne obmedzený výpočtový výkon mikrokontroléra. V prípade potreby zariadi tento proces korektné vypnutie počítača.

Tento program sa tiež stará o zaslanie textu ktorý má byť zobrazený na displeji vstavanom vo vozidle mikrokontroléru. Tento text je mikrokontroléru poslaný v prípade, že na to príde požiadavka.

Samotné odpojenie napájania nerieši program *ioserver*. Tento program je totiž v čase keď je možné odpojiť napájanie ukončený *systemd*. Na tento účel je použitý program *cutpower*, ktorého jedinou úlohou je zaslať tento príkaz mikrokontroléru. Program *cutpower* je iniciovaný *systemd* v čase, keď je možné bezpečne odpojiť napájanie.

Komunikácia s FM prijímačom

Komunikácia s FM prijímačom prebieha po zbernici I^2C . Kód ovládajúci toto zariadenie bol prebratý a upravený z iného projektu. Tento kód bol zverejnený pod licenciou *GPLv3*.

Špecifikom je čítanie informácií prenášaných pomocou *RDS*. Pretože jedna *RDS* správa obsahuje len 2 znaky prenášaného textu a tieto správy nie sú prijímané v garantovaných časoch, je nutné kľásť na obvod FM prijímača požiadavky na túto informáciu v pravidelných intervaloch. Program *ioserver* má preto vyhradený proces, ktorý posiela tieto dotazy a nazbieraný text ukladá do zdieľanej pamäte. Keď príde dotaz od grafického užívateľského rozhrania na text prenášaný pomocou *RDS* môže ho okamžite zodpovedať.

Komunikácia s digitálnymi potenciometrami

Komunikácia prebieha po zbernici *SPI*. Keď príde na *ioserver* požiadavka od grafického užívateľského rozhrania, vyšle tento program po zbernici príslušný príkaz špecifikovaný výrobcom a odpovie na požiadavku užívateľského rozhrania.

4.3.3 Mikrokontrolér

Komunikácia s displejom a diaľkovým ovládačom vstavaným vo vozidle

Najzložitejšou činnosťou ktorú vykonáva program mikrokontroléru je komunikácia s externým displejom a diaľkovým ovládačom. komunikácia totiž prebieha po zbernici I^2C doplnenej o signál prerušenia. Pretože je táto zbernica neštandardná, nie je možné na komunikáciu po nej použiť len hardvérovú jednotku vstavanú v mikrokontroléri. Bolo potrebné doprogramovať emuláciu tohto signálu prerušenia.

Dokumentácia protokolu ktorý sa na túto komunikáciu používa nie je dostupná. Bolo teda potrebné tento protokol aspoň do istej miery rozlúštiť. To zahŕňalo odchytenie komunikácie medzi komerčným autorádiom a externým displejom. Prvým pokusom bolo odchytenie tejto komunikácie za pomoci digitálneho osciloskopu. Ukázalo sa, že použitý digitálny osciloskop nemá dostatočne veľkú pamäť na vzorky a teda analýza celej komunikácie nebola možná. Možnosti osciloskopu ale postačovali na zistenie časovania signálu prerušenia a tiež na zistenie dĺžky posielaných správ.

Na samotné odchytyvanie správ posielaných po zbernici bol teda zostrojený elektrický obvod postavený okolo mikrokontroléra *Atmel AtMega8*. Na odchytyvanie tejto komunikácie nemohol byť použitý vstavaný hardvérový radič zbernice I^2C , pretože tento svojimi signálmi *ACK* miatol ostatné zariadenia na zbernici. Bol teda použitý softvérový dekodér správ posielaných po tejto zbernici. Odchytené dáta boli posielané po sériovej linke do počítača na ďalšiu analýzu.

Zasielaním rôznych pokynov pomocou diaľkového ovládača a zobrazovaním rôznych textov (názvov staníc) bolo nazbierané dostatočné množstvo dát na implementáciu základných

funkcií a teda zistenie stlačeného tlačidla na diaľkovom ovládači a poslanie textu na displej. Správnosť rozlúštenej časti protokolu bola overená pokusom, pri ktorom bolo odpojené komerčné autorádio a mikrokontrolér vypisoval na displej text s použitím hardvérového radiča zbernice I^2C . Podobným spôsobom bolo overené zisťovanie stlačených tlačidiel diaľkového ovládača.

Následne bol vytvorený program pre mikrokontrolér *Atmel AtMega32*, ktorý je použitý v zariadení a ktorý zabezpečuje túto komunikáciu. Pre účely debugovania boli ponechané výpisy po sériovej linke. Táto linka totiž za bežných okolností nie je nikam pripojená.

Komunikácia s počítačom

Na komunikáciu s počítačom bola použitá zbernica *SPI*. Mikrokontrolér je v móde *slave* a bolo teda rozhodnuté o použití prerušení mikrokontroléru k spracovaniu príkazov, ktoré prichádzajú po tejto zbernici. Protokol bol zvolený minimalistický, aby zostalo dosť strojového času na spracovanie údajov, ktoré prichádzajú od diaľkového ovládača. Tento protokol sa pri dotazoch na stav (stav zapalovania vozidla a stlačených tlačidiel diaľkového ovládača) obmedzuje na 1 B prenášanej informácie.

Vypínanie zariadenia

Keď mikrokontrolér zistí, že bolo vypnuté zapalovanie vozidla, po dotaze na stav od počítača mu túto skutočnosť oznámi. Zároveň začne odpočítavať 90 s po ktorých zariadenie vypne aj napriek tomu, že žiaden dotaz od počítača neprišiel. Po dobu týchto 90 s tiež čaká na správu od počítača, ktorá udáva, že počítač je pripravený na odpojenie napájania. Po prijatí tejto správy sa mikrokontrolér pokúsi vypnúť relé vypínača zariadenia. Ak sa mu to nepodarí (relé zostalo zlepené v zapnutom stave), vypína a zapína prúd prechádzajúci cievkou tohto relé až do momentu kedy sa úspešne vypne.

Akonáhle je relé vypnuté, upadá mikrokontrolér pre zníženie odoberaného prúdu do režimu spánku. Na zobudenie z tohto spánku je použitý časovač, ktorý tento spánok prerušuje po 3 s. Po zobudení mikrokontrolér prevedie kontrolu stavu zapalovania vozidla a ak je zapalovanie vypnuté, znovu upadá do režimu spánku. Ak je zapalovanie zapnuté, zapne zariadenie.

4.3.4 Konfigurácia operačného systému

Ako správca okien bol pre svoju rýchlosť a malú veľkosť použitý *Openbox*. Tento umožňuje jednoduché pridávanie modulov a automatický štart okienkových aplikácií. Pre odstránenie kurzora bol použitý program *unclutter*.

Pretože je potrebné po vložení *USB* pamäťového média súborové systémy na tomto médiu namountovať, bolo napísané *udev* pravidlo, ktoré po pripojení takéhoto zariadenia spustí skript *mount-update*. Tento zabezpečí namountovanie tohto zariadenia a aktualizáciu hudobnej zbierky.

Systém *Fedora 23* používa na správu služieb systém *systemd*. Do tohto systému boli teda pridané konfiguračné súbory pre automatický štart programu *ioserver* po spustení počítača a štart programu *cutpower* v čase keď, je počítač pripravený na odpojenie napájania.

Kapitola 5

Záver

Stanovené ciele boli dosiahnuté. Bolo vytvorené zariadenie použiteľné ako moderné auto-rádio s dotykovým displejom, ktorého plány a zdrojové kódy budú neskôr zverejnené pod licenciou *GPLv3*. Toto zariadenie ponúka jednoduché a prehľadné užívateľské rozhranie, umožňujúce pohodlný výber prehrávaných skladieb a tiež ladenia a ukladania rozhlasových staníc. Nechýba ani zobrazovanie informácií prenášaných pomocou systému *RDS*. Pre zvýšenie pohodlnosti ovládania, je zariadenie schopné spolupracovať s diaľkovým ovládačom vstavaným vo vozidle. Tak isto disponuje aj schopnosťou zobrazovať názov stanice na displeji umiestnenom v zornom poli vodiča, ktorý je zabudovaný vo vozidle. Samozrejmosťou je prehrávanie skladieb z *USB* kľúča.

Hardvér zariadenia funguje správne. Bola síce objavená drobná záhada na relé ktoré zabezpečuje vypínanie zariadenia, no jedná sa o vadu súčiastky. Zariadenie aj vďaka softvéru ktorý s touto závadou počíta, dokáže uspokojivo pracovať.

Konštrukcia tohto zariadenia ponúka aj rozsiahle možnosti rozšírenia o ďalšie funkcie. Do budúcnosti sa počíta s rozšírením o *GPS* navigáciu. Zariadenie je tiež možné rozšíriť o *Bluetooth* modul pre komunikáciu so smartfónom, čo by umožnilo prehrávanie skladieb priamo zo smartfónu, prípadne hands-free telefonovanie. Možné je aj rozšírenie o modul pripojený na *CAN* zbernicu automobilu a teda čítanie rôznych prevádzkových parametrov, prípadne pamäti závad.

Literatúra

- [1] Analog Devices Inc.: *AD8066 High Performance, 145 MHz FastFET™ Op Amp*. 2010, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8065_8066.pdf
- [2] Atmel Corporation: *ATmega32(L) Complete*. 2011, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>
- [3] AVX Corporation: *TAJ Series Datasheet*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://datasheets.avx.com/TAJ.pdf>
- [4] AVX Corporation: *TPS Series Datasheet*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://datasheets.avx.com/TPS.pdf>
- [5] de Castro Lopo, E.: *libsndfile*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://www.mega-nerd.com/libsndfile/>
- [6] centos.org: *CentOS Product Specifications: End of Lifetime (EOL) Dates*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <https://wiki.centos.org/About/Product>
- [7] Dobeš, J.; Žalud, V.: *Moderní radiotechnika*. BEN — technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-132-2.
- [8] Donohoe, P.: *ECE 4333/6333 RF and Microwave Engineering*. ECE at Mississippi State University, [Online; navštívené 12.5.2016].
URL <http://my.ece.msstate.edu/faculty/donohoe/ece4333notes5.pdf>
- [9] Frohn, M.; Oberthurn, W.; Siedler, H.-J.; aj.: *Elektronika — polovodičové součástky a základní zapojení*. BEN — technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-123-3.
- [10] Kellermann, M.: *libmpdclient*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <https://www.musicpd.org/libs/libmpdclient/>
- [11] Kunovský, J.: *Teorie obvodů — Studijní opora*. 2008.
- [12] Maxim Integrated: *125mA, Frequency-Selectable, Switched-Capacitor Voltage Converters*. 1997, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1680-MAX1681.pdf>
- [13] Microchip Technology: *MCP434X/436X Quad Non-Volatile Data Sheet*. 2009, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22233a.pdf>

- [14] Nahvi, M.; Edminister, J. A.: *Shaum's Outlines of Electric Circuits*. McGraw–Hill, 2011, ISBN 978-0-07-163372-7.
- [15] ON Semiconductor Inc.: *NCV4275 5.0 V, 450 mA Low-Drop Voltage Regulator*. 2014, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCV4275-D.PDF
- [16] Poznyakoff, S.: *GDBM*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://www.gnu.org.ua/software/gdbm/>
- [17] Schwartz, J.; Růžička, R.; Strnadel, J.: *Mikroprocesorové a vestavěné systémy — Studijní opora*. 2006.
- [18] Silicon Laboratories Inc.: *Si4702/Si4703-C19 Broadcast FM Radio Tuner for Portable Applications*. 2009, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si4702-03-C19.pdf>
- [19] STMicroelectronics: *TDA7388, 4 x 45 W quad bridge car radio amplifier*. 2013, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/3d/05/8a/ee/2f/3d/45/f7/CD00179160.pdf/files/CD00179160.pdf/jcr:content/translations/en.CD00179160.pdf>
- [20] Texas Instruments Inc.: *LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator*. 2013, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- [21] Texas Instruments Inc.: *LM2674 SIMPLE SWITCHER® 40V, 500mA Low Component Count Step-Down Regulator (Rev. F)*. 2013, [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2674.pdf>
- [22] The Qt Company Ltd.: *Qt Documentation*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <http://doc.qt.io/>
- [23] Xiph.Org: *Xiph.org: libao: a cross platform audio library*. [Online; navštívené 13.5.2016].
URL <https://www.xiph.org/ao/>

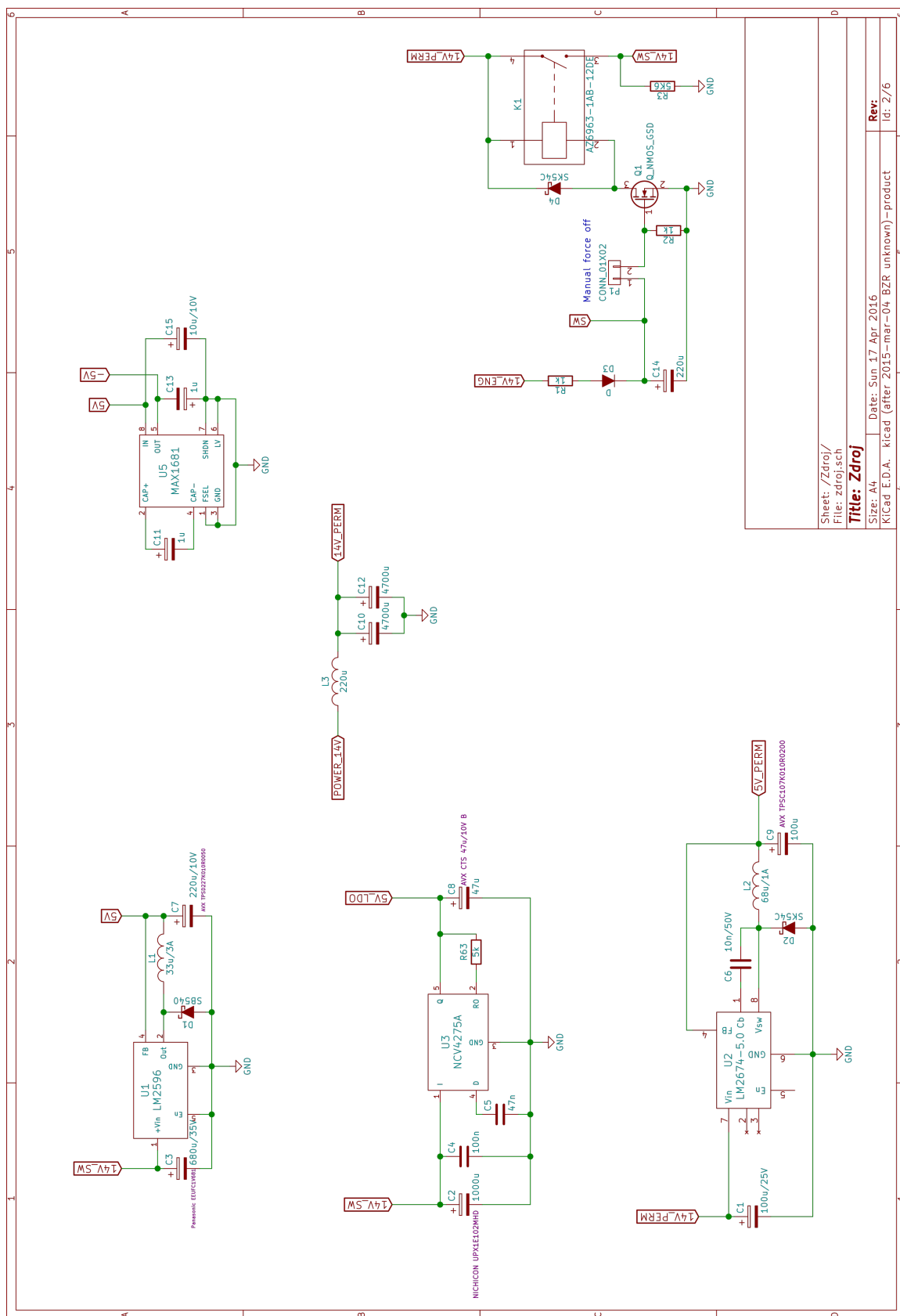
Prílohy

Zoznam príloh

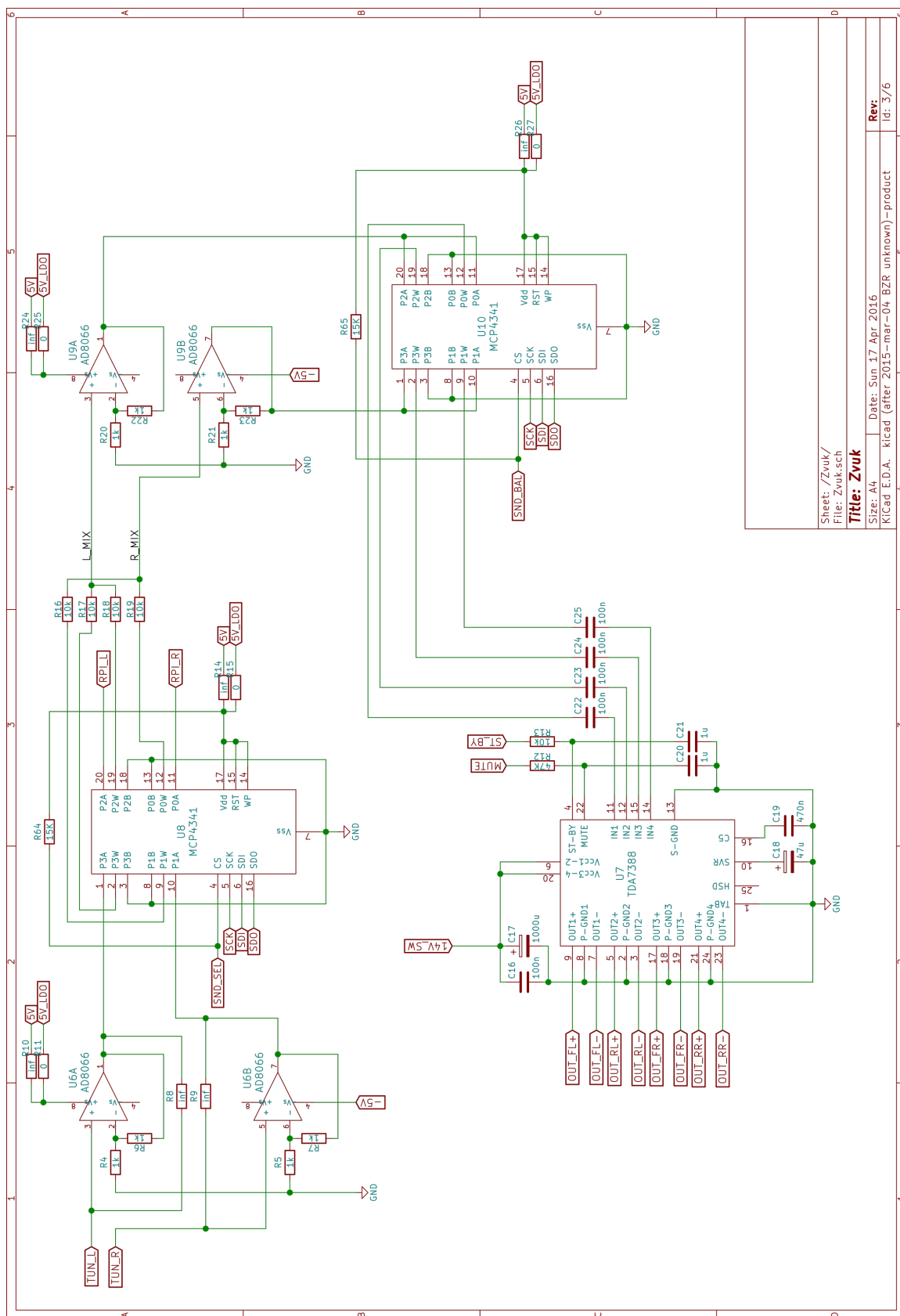
A Úplná schéma zapojenia	32
B Obraz dosky plošných spojov	38
C Fotografie zariadenia	43
D Obsah CD	46

Príloha A

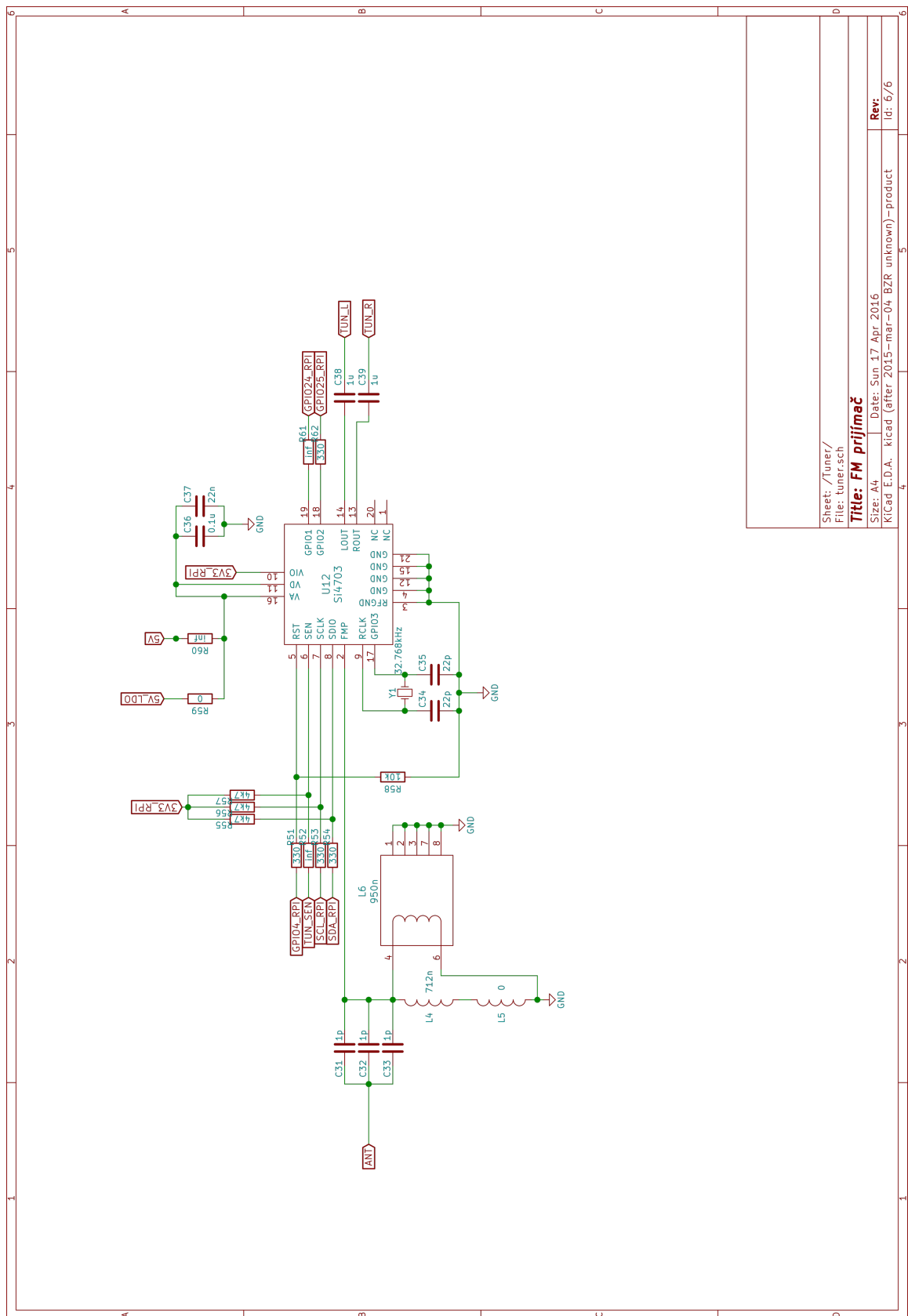
Úplná schéma zapojenia



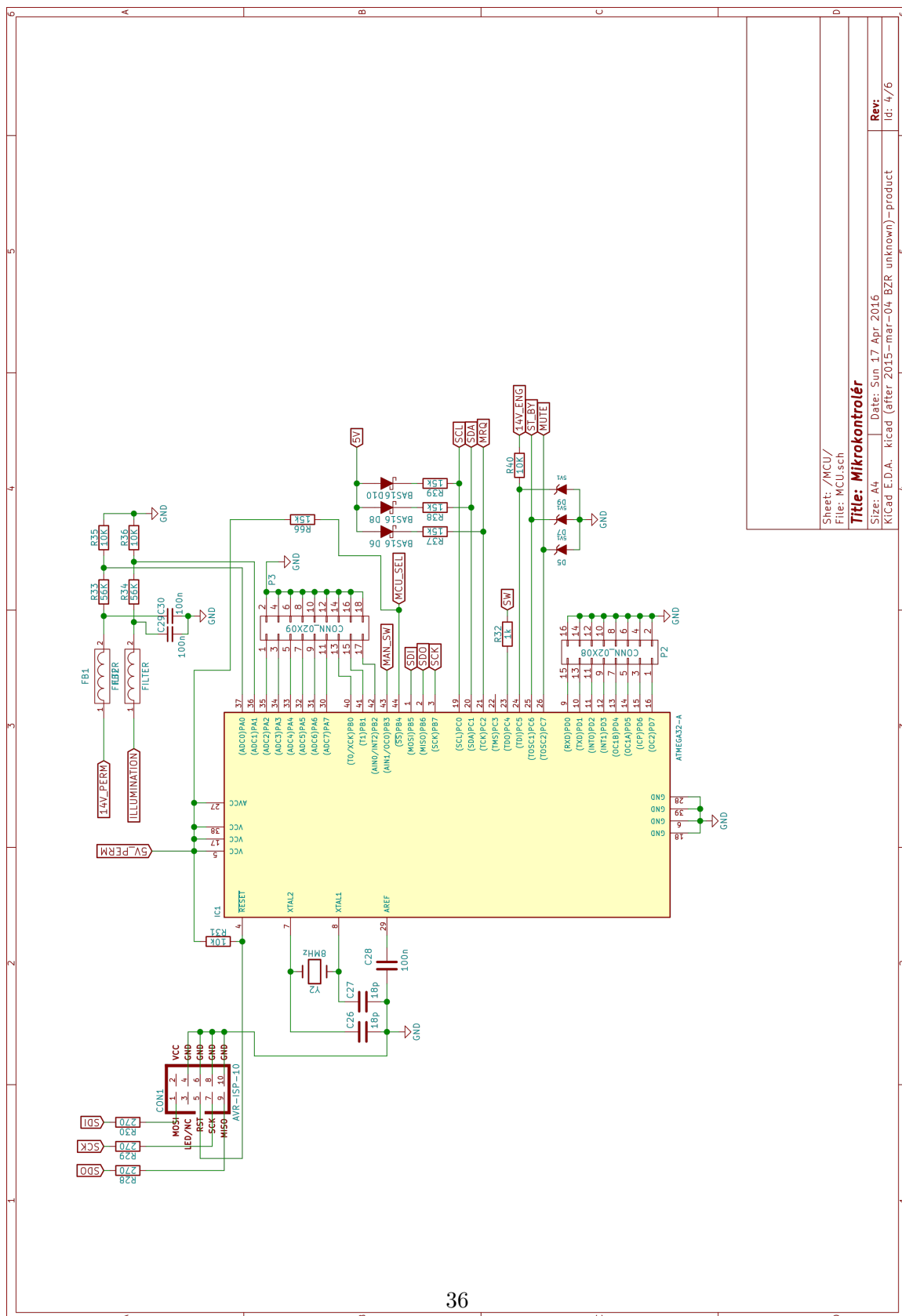
Obr. A.1: Zapojenie regulátorov napätia a vypínača

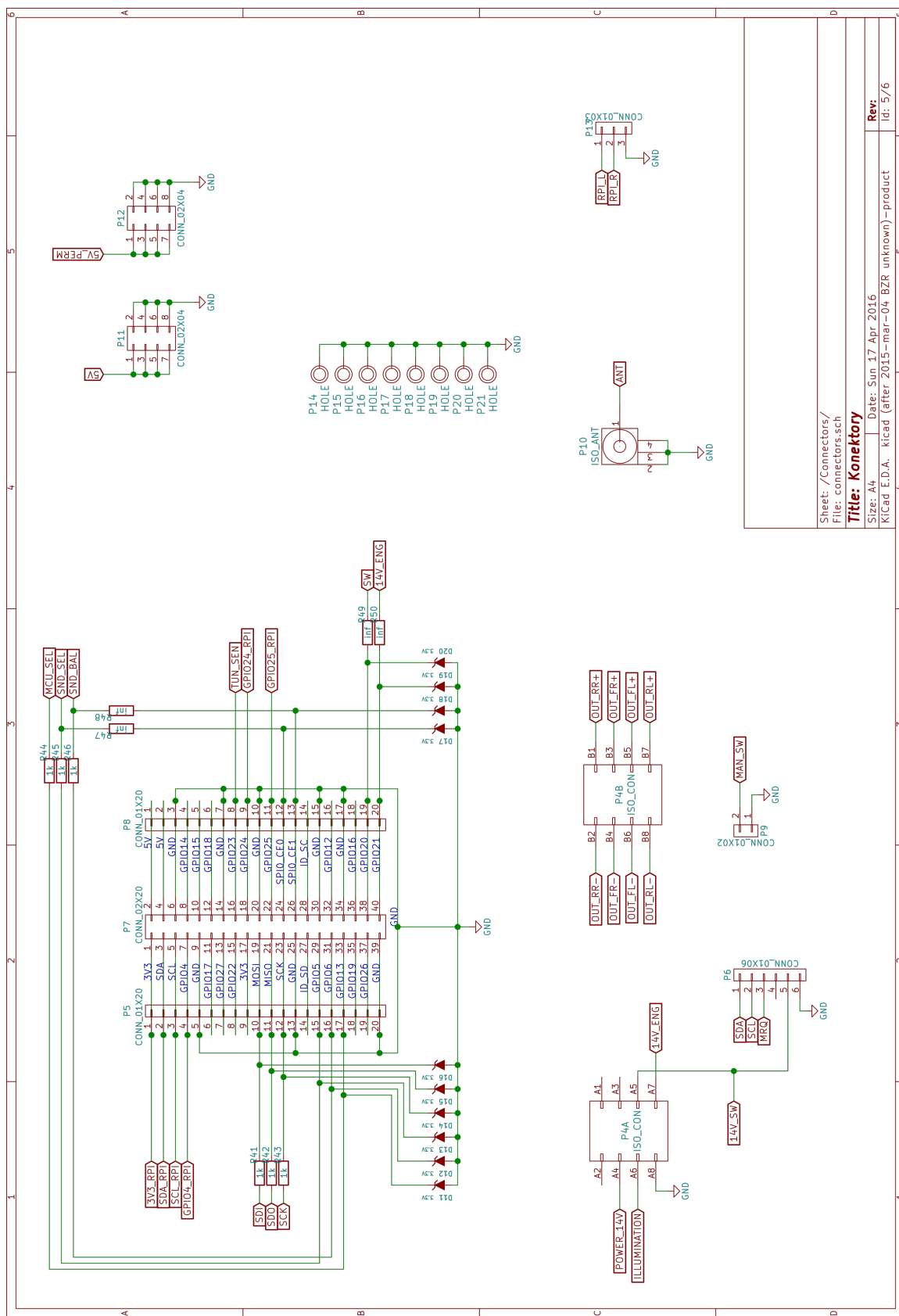


Obr. A.2: Zapojenie zvukových obvodov



Obr. A.3: Zapojenie FM prijímača

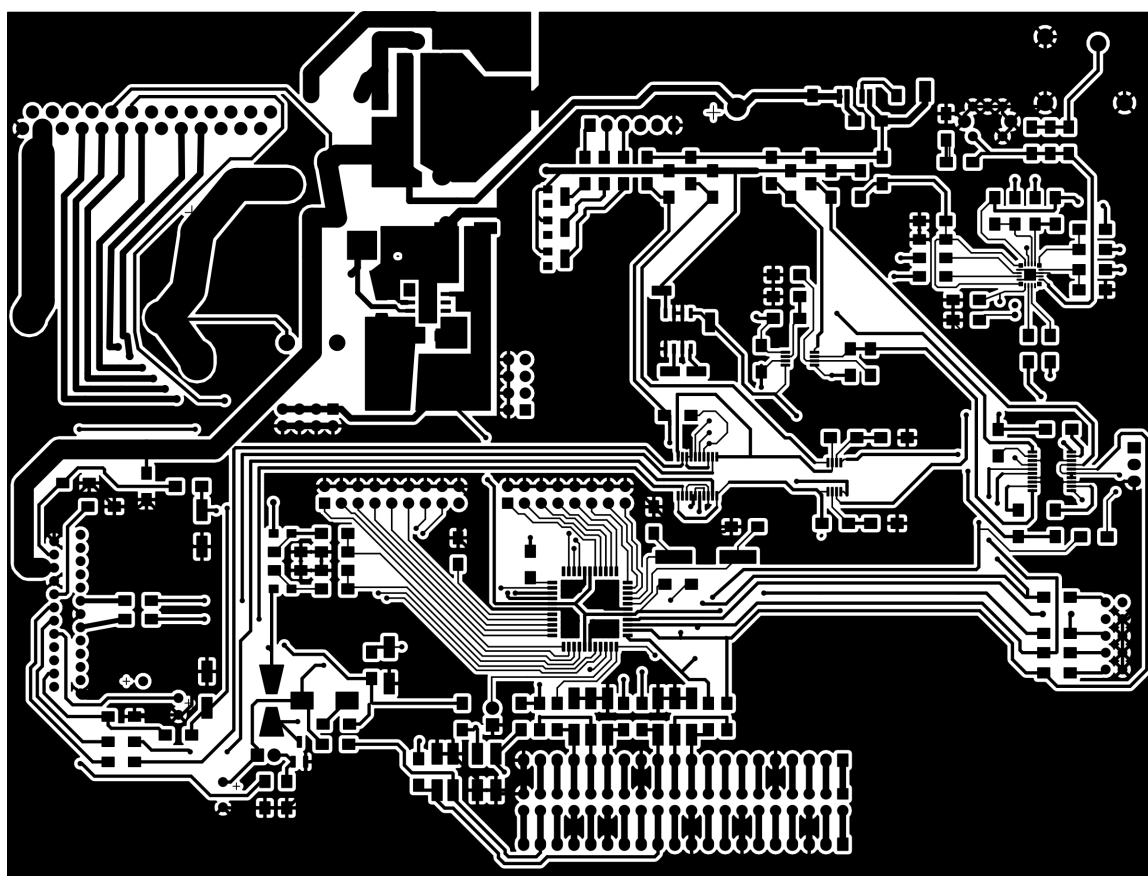




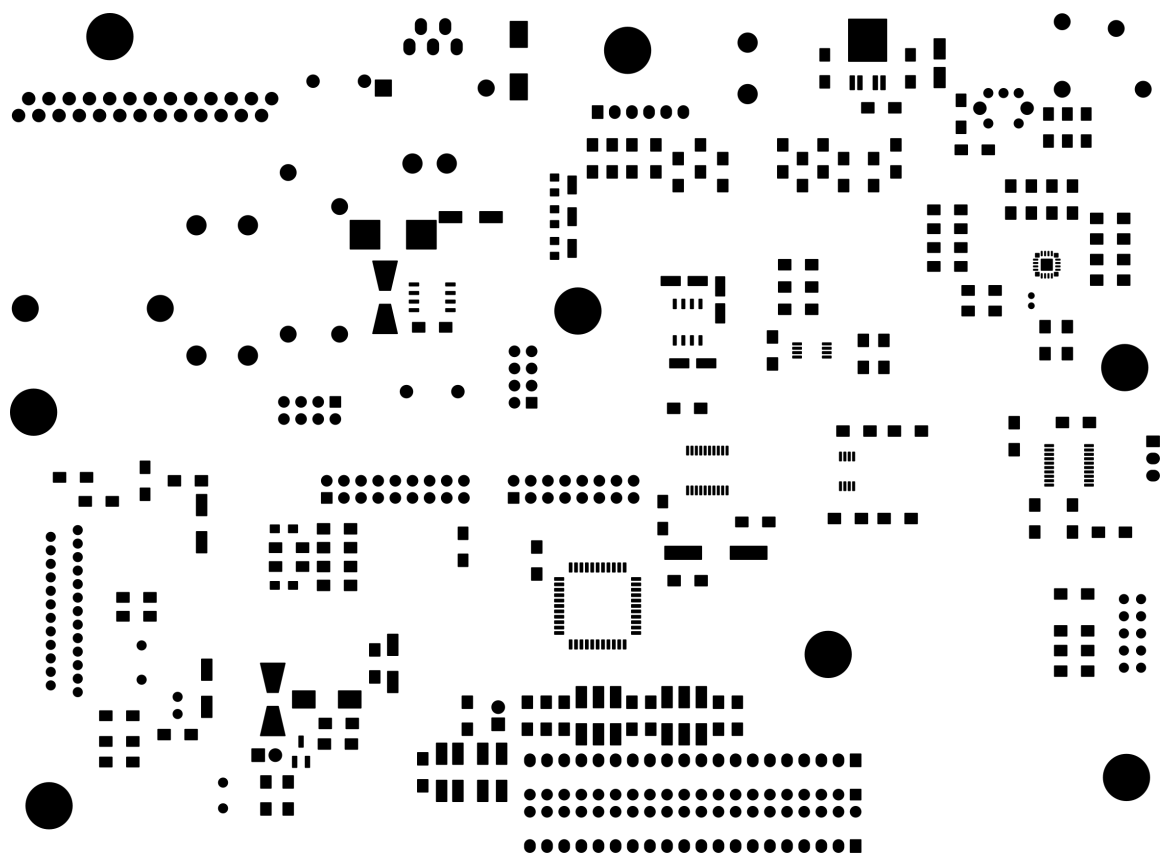
Obr. A.5: Zapojenie konektorov

Príloha B

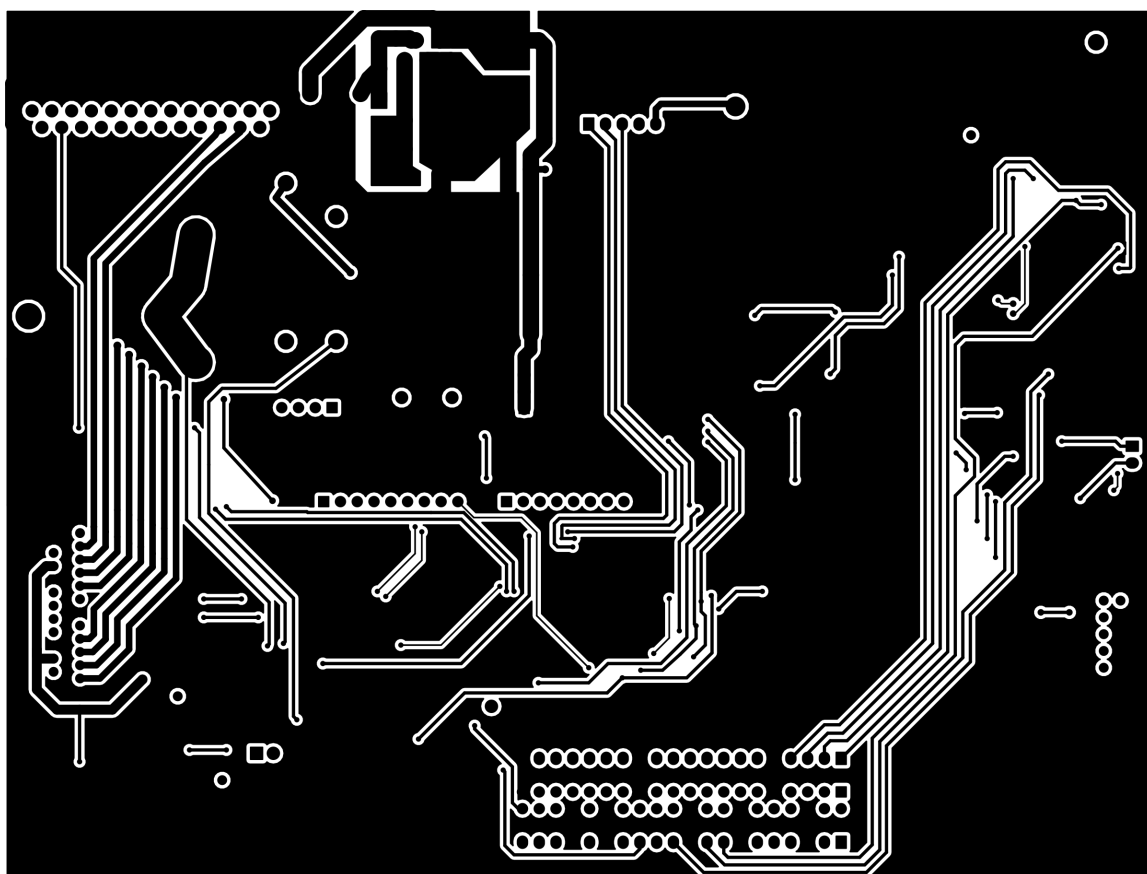
Obráz dosky plošných spojov



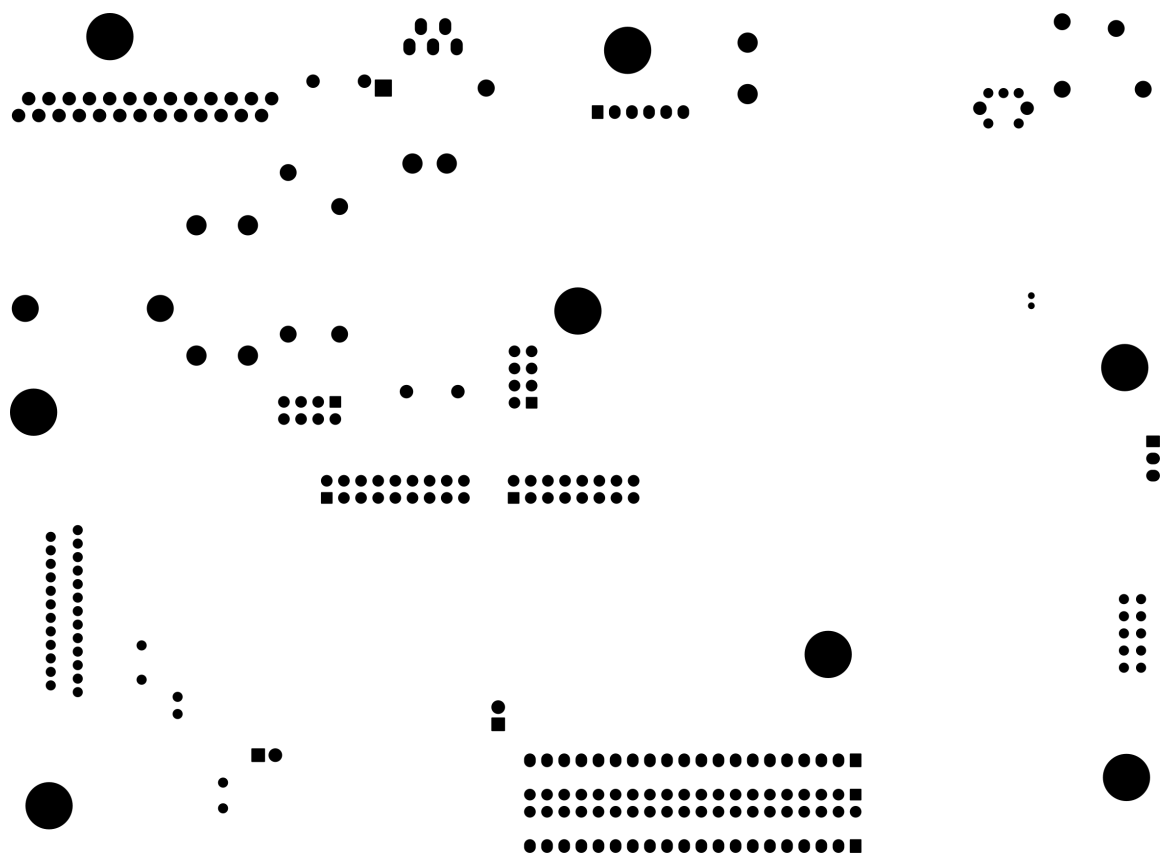
Obr. B.1: Vrchná strana — med'



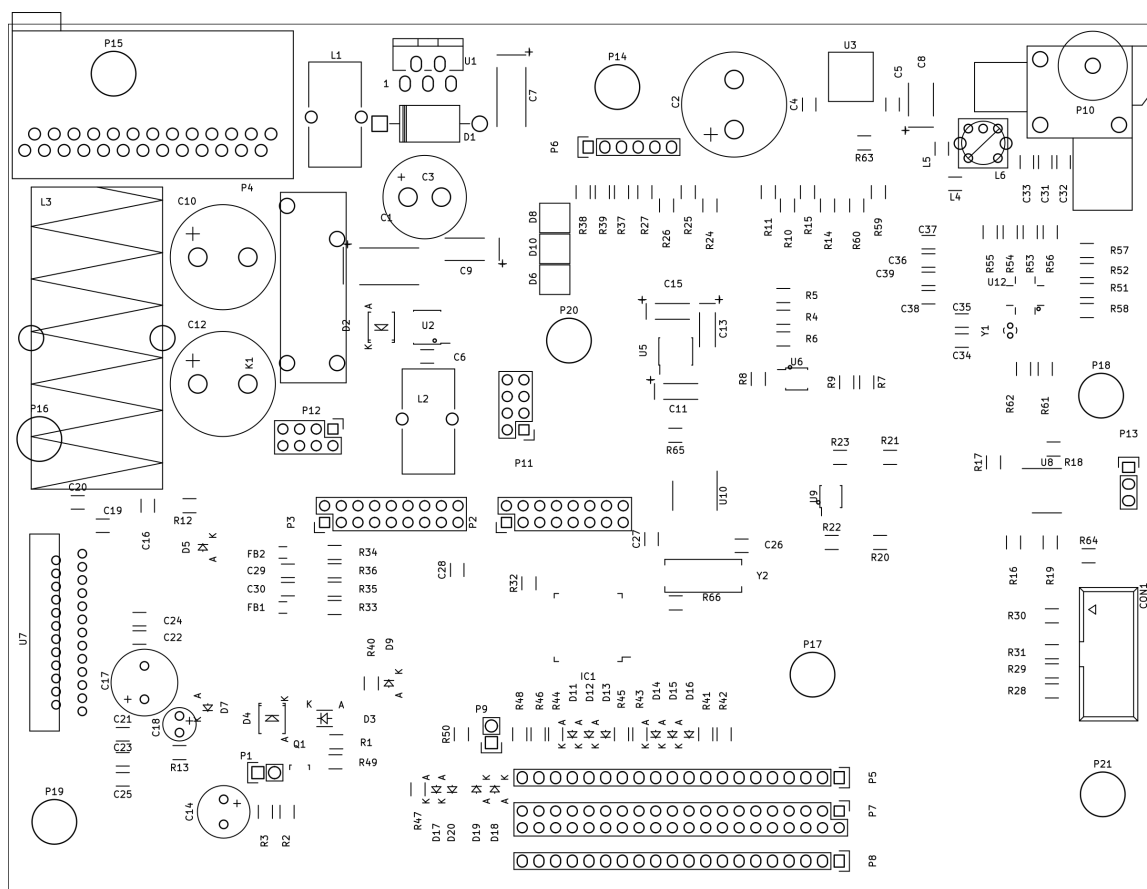
Obr. B.2: Odmaskované časti na vrchnej strane



Obr. B.3: Spodná strana — med'



Obr. B.4: Odmaskované časti na spodnej strane



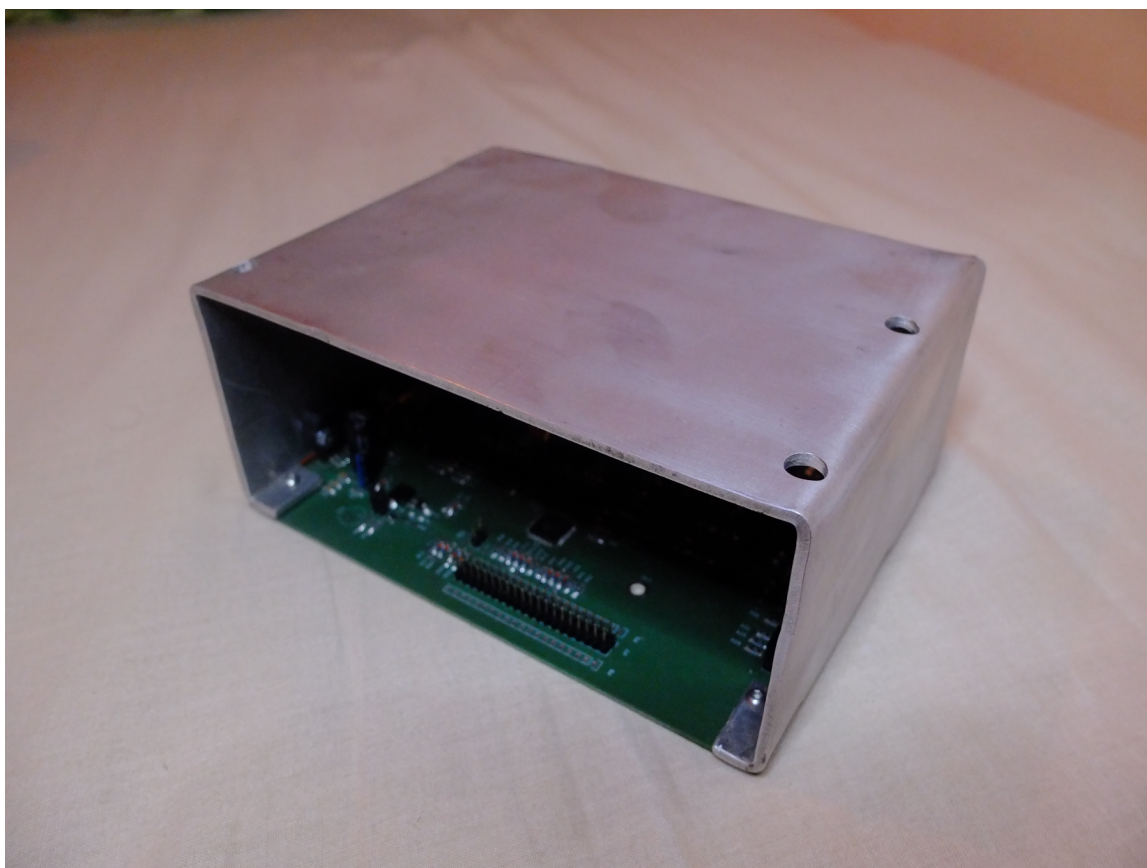
Obr. B.5: Sieťotlač na vrchnej strane

Príloha C

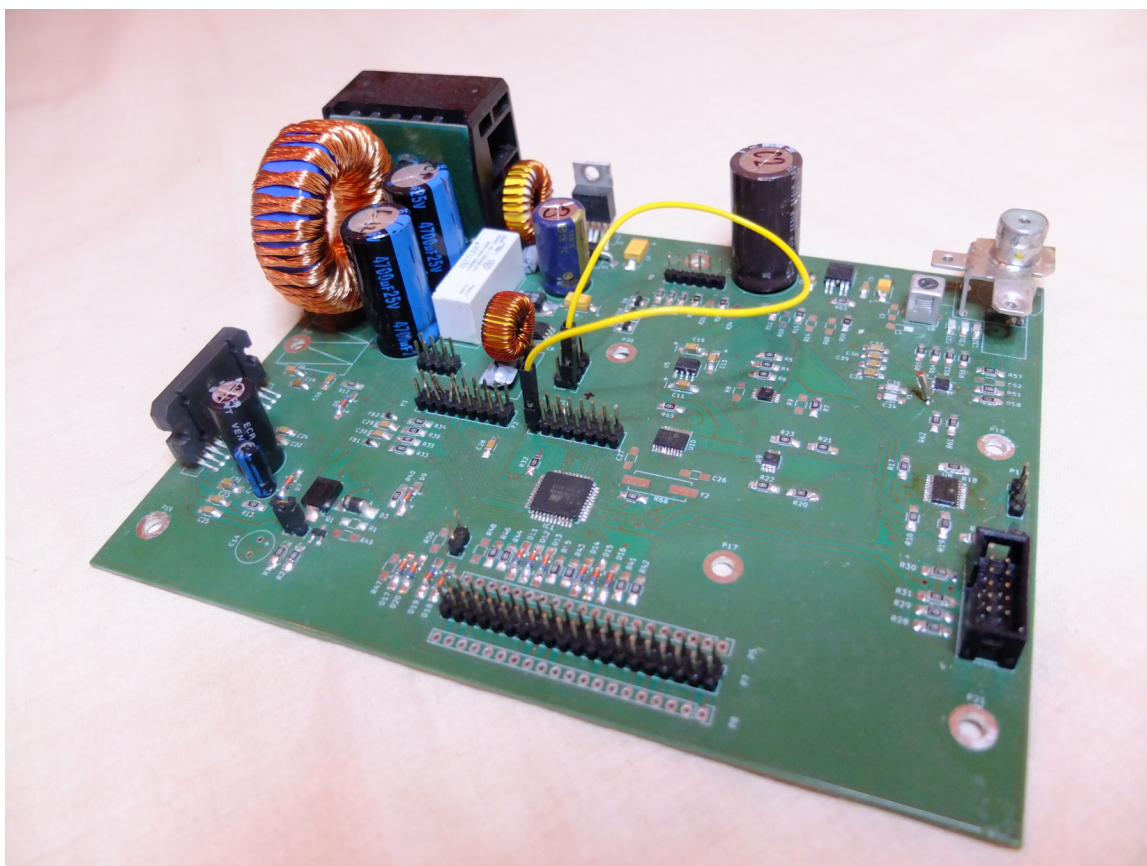
Fotografie zariadenia



Obr. C.1: Zadný pohľad na dotykový displej s počítačom



Obr. C.2: Doska plošných spojov s osadeným chladičom



Obr. C.3: Doska plošných spojov bez chladiča

Príloha D

Obsah CD

- automount — Konfiguračné skripty a program pre automatické mountovanie *USB* kľúča
- cutPower — Zdrojové kódy programu *cutpower*
- gui — Zdrojové kódy užívateľského rozhrania
- mcu — Zdrojové kódy pre mikrokontrolér
- server — Zdrojové kódy programu *ioserver*
- sprava — Zdrojové kódy technickej správy
- systemd — Konfiguračné súbory pre *systemd*
- README
- LICENSE